no.5 (2002)
LIBRARY
NOAA, NMFS Honolulu Lab.
2570 Dole St.
Honolulu, Hawaii 96822-2396

ISSN 1346-9894
水研センター研報
Bull.Fish.Res.Agen.

水産総合研究センター
研究報告

5
平成14年9月

BULLETIN OF FISHERIES RESEARCH AGENCY

No. 5
September 2002

NMFS Honolulu Library
Received 21 Feb 2003
for Library Use Only

独立行政法人 水産総合研究センター
神奈川県横浜市
FISHERIES RESEARCH AGENCY
Yokohama, Kanagawa, Japan

水産総合研究センター研究報告

第5号　　平成14年9月

目　次

（報　文）

黒潮下流域遠州灘沖合特有の中層水構造
小松　幸生・川崎　清 …… 1

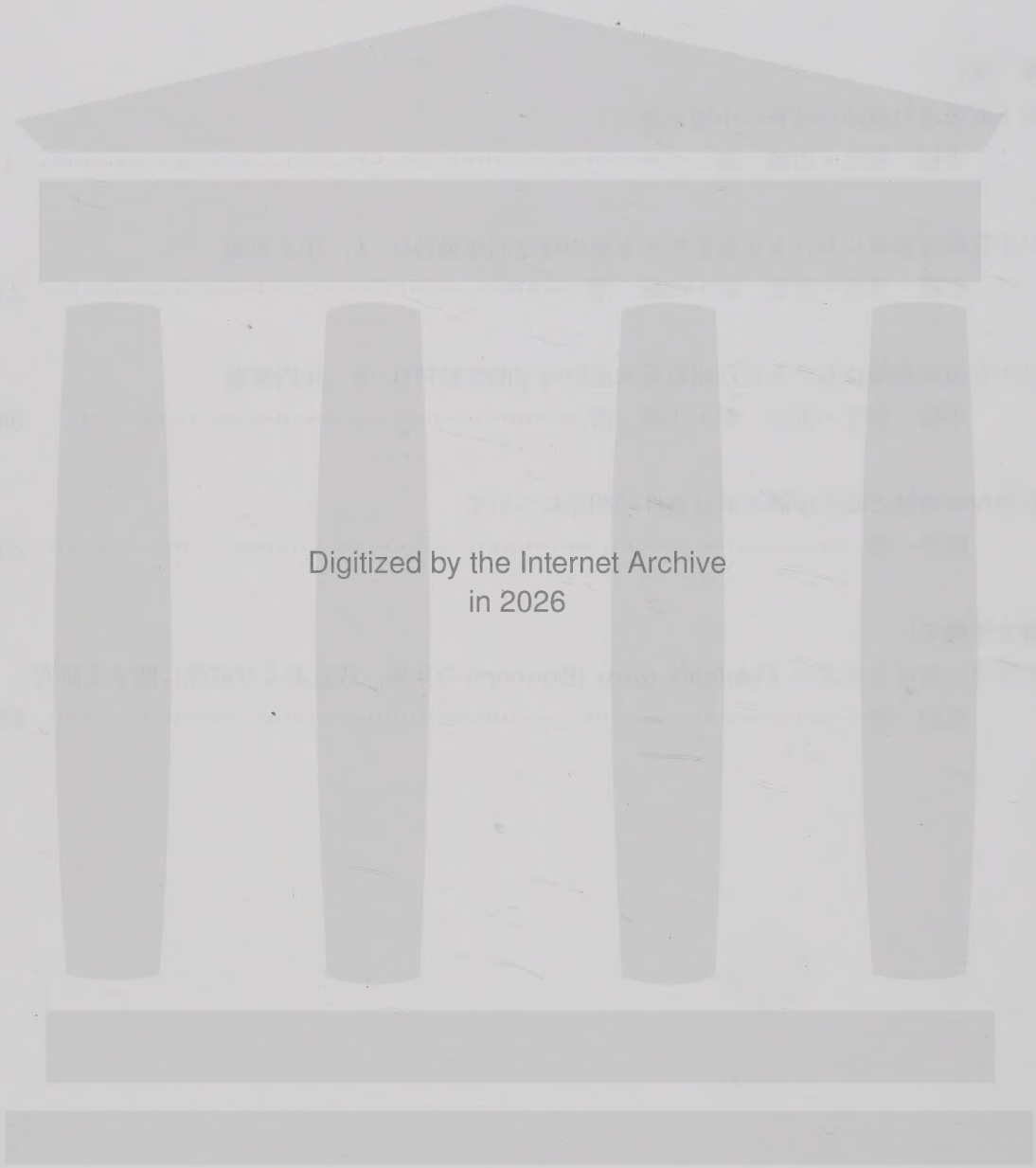
伊豆小笠原海嶺域における定期船航走水温の時空間変動特性　I．年々変動
小松　幸生・友定　彰・川崎　清 …… 23

伊豆小笠原海嶺域における定期船航走水温の時空間変動特性　II．年内変動
小松　幸生・友定　彰・川崎　清 …… 38

定置漁村の特性と観光定置の成立条件の関係について
松浦　勉 …… 55

（博士号論文）

北太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* (Brevoort) の年齢，成長および成熟に関する研究
巣山　哲 …… 68



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/bulletin-japan-fisheries-research-education-agency_2002-09_5

水研センター研報，第5号，1−22，平成14年
Bull. Fish. Res. Agen. No. 5, 1-22, 2002

黒潮下流域遠州灘沖合特有の中層水構造

小松幸生*，川崎　清*

Unique hydrographic structure of intermediate water offshore the Enshu-nada in the Kuroshio region south of Japan

Kosei KOMATSU* and Kiyoshi KAWASAKI*

Abstract Hydrographic structure was observed with focus on the intermediate water (density range of 26.6 − 27.5 σ_θ) along subtracks of the satellite TOPEX/POSEIDON across the Kuroshio south of Japan in late summer in 1999 and 2001. In the coastal region northern side of the Kuroshio current-axis in the Enshu-nada where supply of nutrient from deeper layers is relatively rich, the hydrographic structure was remarkably different from one observed in the neighboring region. The structure might be attributed to stronger effects of vertical diffusion or vertical mixing in this region, where isopycnal profiles of salinity were lower in the upper layer (<25.9 σ_θ) and higher in the intermediate layer (>25.9 σ_θ), compared with profiles obtained in the neighboring region. This unique structure occurred in both cruises, although the Kuroshio took a straight pattern during the cruise in 1999 and meandered during the cruise in 2001. These results indicated the possibility of the structure to exist almost steadily due to some effects of topography.

Key word: intermediate water, Enshu-nada, Kuroshio

黒潮は遠州灘沖合でしばしば大きく蛇行する。そして，蛇行時には内側域に冷水塊が発達することが多く，これに伴う下層からの活発な栄養塩供給はこの海域の豊かな漁場形成と関係が深い。この因果律は明瞭であるが，この海域の水塊の実態については不明な点も多い。そこで，現場調査を実施し，特に中層の水塊に焦点を当ててその水理学的特性を調べた。

本州東方沖合には塩分極小で特徴づけられる北太平洋中層水（NPIW）が広く分布していることがよく知られている（e.g., Talley, 1993）。この水はオホーツク海の低温，低塩分水が親潮と一緒に南下し，黒潮と一緒に北上した高温，高塩分の亜熱帯水と混合することで形成されると考えられている（e.g., Yasuda, 1997）。黒潮の流れる本州南方の沖合でも中層には同様の塩分極小層が存在する。中層水，ここではポテンシャル密度 σ_θ が 26.6～27.5kg/m^3 の水とする，は風成循環に支配される表層と熱塩循環に支配される深層の中間に位置することもあってその構造と挙動は極めて複雑であり，未だ不明な点も多い。しかし，中層水は深層から湧昇してくる栄養塩や表層に溶解した地球温暖化物質の輸送経路にあたることから（Tsunogai *et al.*, 1993），その実態解明は重要である（Hiroe *et al.*, 2002）。

特に，中層水を栄養塩の下層からの供給経路として考えた場合，比較的貧栄養な黒潮域ではその実態解明はより重要である。なぜなら，この海域の一次生産量は栄養塩量でほぼ規定されると考えてよいからである。このことは，海色衛星から推定した植物プランクトン現存量の分布が表面水温分布ときれいな逆相関をなしていることからも分かる。栄養塩の少ない黒潮と豊富な内側域では海色が強いコントラストをなしている。また，3次元生態系モデルを用いた最近の研究によると，この海域の動植物プランクトンの現存量は黒潮に

2002年6月19日受理（Accepted on June 19, 2002）
水産総合研究センター業績 A 第22号（Contribution No. A 22 from the Fisheries Research Agency）
* 中央水産研究所，〒236-8648　神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4 (National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura 2-12-4, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

よる強い移流効果によって流れに沿って一様化される傾向があることを示している（小松，2002）。このことから，どこかに豊富な栄養塩の供給源があった場合，黒潮の移流の効果でより下流の続流域までその影響が及ぶことが予想される。

遠州灘はこの豊富な栄養塩の供給源の候補として第一に考えられよう。ここは西側に紀伊半島，東側に伊豆海嶺があって（Fig. 1），このような地理的条件が一因となって黒潮はしばしば大きく蛇行する。そして，低気圧性の渦流を伴う冷水塊が形成され，その発散効果によって下層からの栄養塩の湧昇を伴うことが多い（例えば，増沢，1968）。実際，このときには親潮域に匹敵するほどの一次生産量を呈するという現場観測の報告もある（Shiomoto and Matsumura, 1992）。また，黒潮の流路によっては房総半島沖から遠州灘へ向けて沿岸よりに栄養塩豊富な親潮系水が貫入していることも指摘されている（Yang *et al.*, 1993a,b; Senjyu *et al.*,1998）。そこで，本稿では遠州灘沖合の中層水に焦点を当てて，1999年と2001年の晩夏に黒潮下流域で実施した観測データを解析し，鉛直混合の影響でこの海域に特有の水塊構造が存在することを指摘する。

観測とデータ

黒潮下流域における中層水の観測は，中央水産研究所の調査船蒼鷹丸（892t）により1999年と2001年の8月下旬から9月上旬にかけて実施した。Fig. 1にはこの2回の観測における測点と海底地形図を示す。測点の間隔は緯度にして10′であり，測線は黒潮を南北に横断し，海面高度衛星TOPEX/POSEIDONの軌道に沿っている。観測では，測点毎にCTD-DO（Sea-Bird Electronics 社製911plus）で1500dbまでの水温，塩分（電気伝導度），溶存酸素を計測した。そして，5～6測点おきに10層でRossetteサンプルシステムの2.4Lニスキ

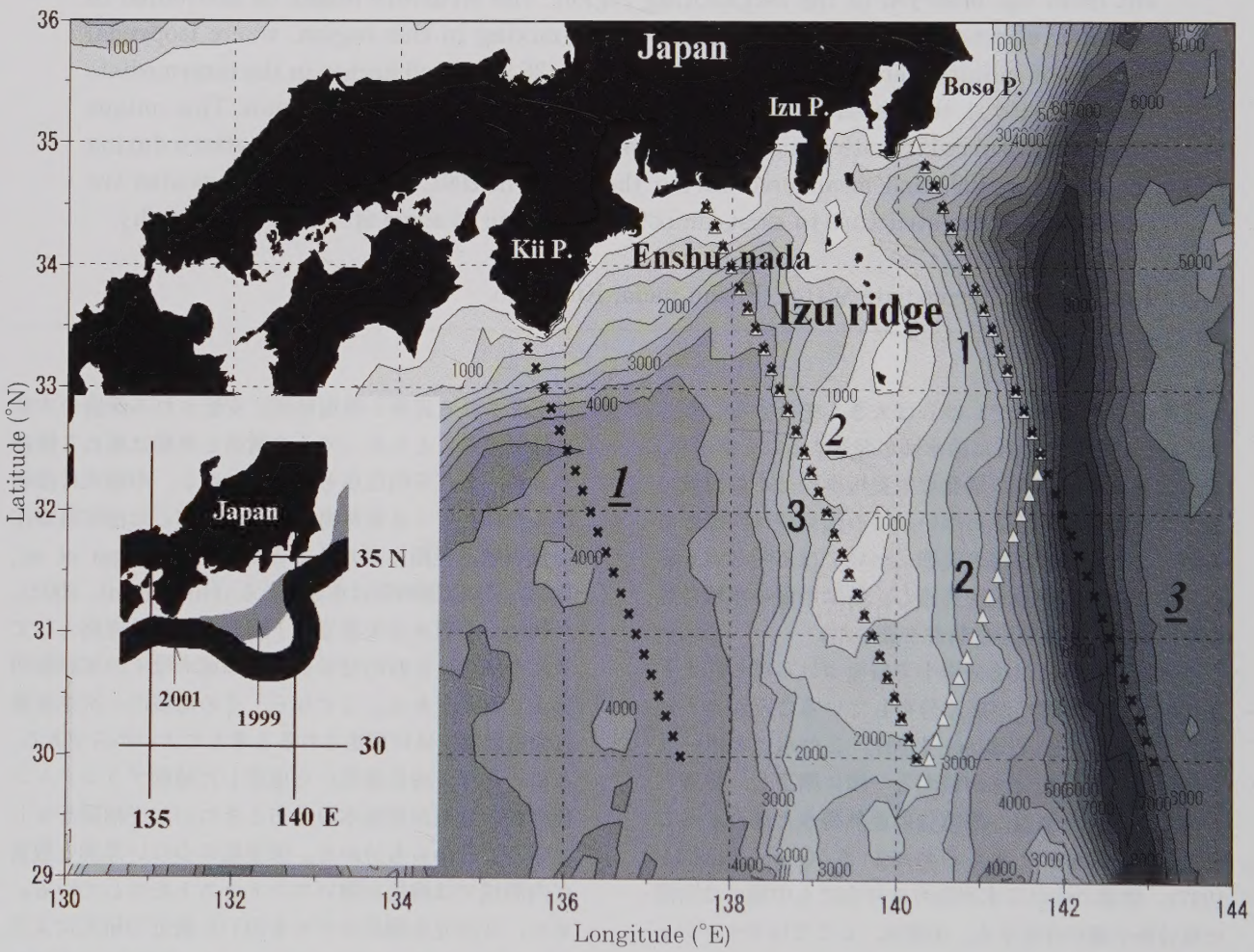


Fig. 1. Location map of the stations along TOPEX/POSEIDON subtracks in late summer in 1999 and 2001. The stations in 1999 are marked by triangles and the stations in 2001 are marked by crosses. The numbers of the observation lines in 1999 and 2001 are denoted by Gothic numerals and Italic ones with under-bar, respectively. The left map shows the Kuroshio current-axes during the observation periods referred from Quick Bulletin of Ocean Conditions (Japan Coast Guard, 1999,2001).

ンボトル（General Oceanics社製）による採水を行い，塩分，溶存酸素を測定した。なお，CTD-DOの各センサは毎年1回Sea-Bird社による較正を受けており，水温と圧力の精度はそれぞれ0.002℃，1db程度である。また，CTDの塩分はAUTOSAL（Guildline社製）による採水値（採水誤差，0.002psu程度）で補正し，CTDの酸素は自動滴定器（平間理化(株)製）による採水値（採水誤差，0.04mL/L程度）をもとにOwens and Millard（1985）の適合手法をもとに補正した。補正後の残差誤差は塩分が0.003psu未満，酸素が約0.05mL/Lである。なお，観測では船底設置型の超音波流速計（ADCP, RD Instruments社製，75kHz）により流向，流速を常時計測したが，今回は水塊の分布特性の解析に焦点を絞り，ADCP流速をもとにした流量解析は別報に譲る。

観測時の黒潮の流路はFig. 1の左下に示すように，1999年晩夏はほぼ直進流路，2001年晩夏は遠州灘沖を大きく迂回する蛇行流路であった。

解析結果

鉛直断面分布

まず，測線に沿った鉛直断面から観測の概要を述べる。Fig. 2からFig. 5は，表面から1500dbまでの測線ごとのポテンシャル温度（温位），塩分，ポテンシャル密度，酸素の見かけの利用度（AOU），地衡流速の鉛直断面図である。Fig. 2は1999年の遠州灘沖の測線3，Fig. 3，Fig. 4，Fig. 5はそれぞれ2001年の紀伊半島沖の測線1，遠州灘沖の測線2，房総半島沖の測線3の断面図である。なお，地衡流速は1500dbを無流面として密度場から計算し，紙面を突き抜ける方向が正である。ただし，地衡流速についてはHiroe *et al.*（2001）が垂下式超音波流速計（LADCP）による直接測流から黒潮域では1500dbでも10cm/s未満の有意な流れが存在することを指摘しており，本稿の地衡流速値は最大でこの程度の誤差を含み得ることを注意しておく。Fig. 2とFig. 4は同じ遠州灘沖の測線上の断面であり，両者を比較することで黒潮流路と水塊構造との関連を見ることができる。この測線は伊豆海嶺を横断しており（Fig. 1），図の空白部分は水深が浅いためにCTDを1500dbまで降ろせなかったことを示す。CTDは海底の30～80m直上まで降ろしているので，図の空白部分は測線上の海嶺の大まかな分布を表していると考えてよい。また，Fig. 3からFig. 5は同時期の観測であり，黒潮の流れに沿って下流方向に中層水塊構造がどのように展開しているかを見ることができる。

まず，1999年の遠州灘沖の断面図を見る（Fig. 2）。33° 30′Nに強い水温の南北勾配（水温フロント）があり，沿岸側では下層からの低温水の盛り上がりがある（Fig. 2(a)）。塩分は，密度が26.5～27.0 σ_θの領域に34.3psu以下の塩分極小が存在するのが特徴的であり，34°N以南には34.2psu未満の強い塩分極小が存在している（Fig. 2(b)）。この南側の塩分極小はちょうど海山の南側，正確に言うと測線が伊豆海嶺を北西から南東に向かって斜めに横切っているので海山の南東側（以後この測線での南側はこの意味で使う）に存在しており，比較的新しいNPIWが黒潮域の南縁に貫入していることを示す（Yasuda *et al.*, 1996）。上層に目を移すと，水温フロントの南側では200dbを中心にして亜熱帯モード水と呼ばれる34.8psu以上の高塩分の層が広く分布している。また，水温フロントのやや南よりのごく表層では34.0psu未満の低塩分の薄い層が分布している。現場の降水の影響も否定できないが，低塩分層がちょうど黒潮流路上に位置していることから，上流域において多雨等の影響で表面に分布した低塩分水が黒潮によって運ばれてきた可能性が高い。ポテンシャル密度は水温と極めてよく似た分布構造を示しており（Fig. 2(c)），これから求めた地衡流場を見ると，33°40′Nに1.8m/sを越える強流帯が存在し，しかもその構造が深く900db付近まで及んでいるのが特徴的である。そしてその南側では，32°10′N，31°N，30°20′Nを中心に反流構造が認められる（Fig. 2(d)）。AOUも等密度線とよく一致した分布になっているが，特徴的なのは海山の南側の下層（27.0 σ_θ以深）で6 mL/Lを越える古い水が存在することである。しかも，6 m/Lの等値線が海山の高さとほぼ一致しているのも興味深い。この観測の前年の初夏に実施した房総半島沖での観測でも，32°N以南の沖合に高AOUの水塊が存在しており，これらの結果はその存在する密度帯が27.0 σ_θ以深であることから，変質して古くなったNPIWが黒潮域南縁に接するように存在することを示唆している（小松ら，2001）。

続いて2001年の断面図を西から順に見る（Fig. 3～Fig. 5）。まず，紀伊半島沖の測線1である（Fig. 3）。水温分布は，31°40′N，300dbを中心とした明瞭な暖水塊の構造を呈している（Fig. 3(a)）。そして，これに対応して，塩分の分布は暖水塊の中心で34.8psuを越える高塩分となっている。また，暖水塊の下には塩分極小層が存在している（Fig. 3(b)）。ただし，東側の測線の分布と異なる点は，その分布が南北方向に滑らかな点であり，34.2psu未満の塩分値が現れていない点である。このことは，北方起源の低塩分の比較的新しいNPIWの影響がこの海域では非常に弱いことを示すものであり，AOUの分布を見ても分布は滑らかである（Fig. 3(e)）。これは後述する等密度面上でのプロファ

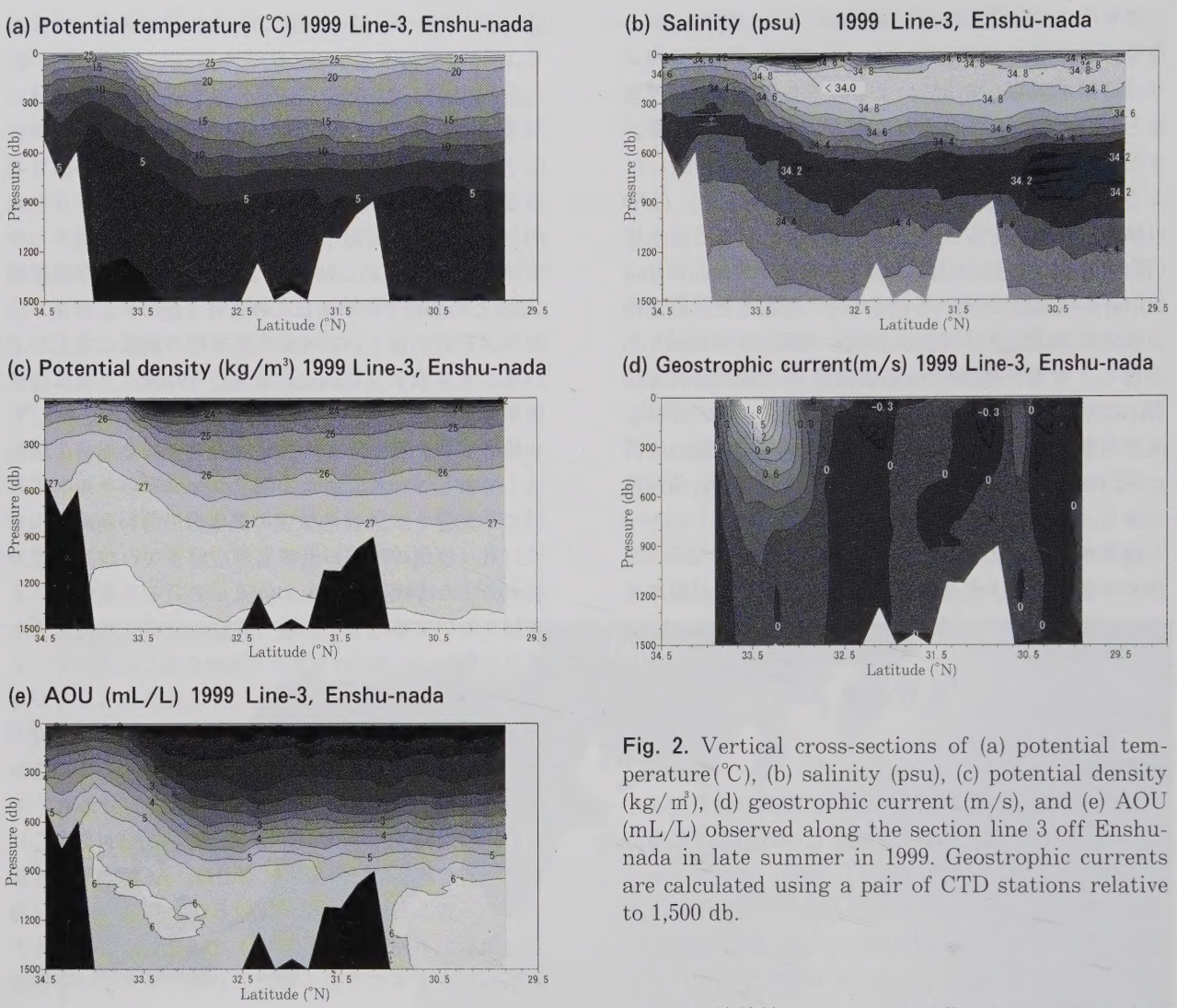


Fig. 2. Vertical cross-sections of (a) potential temperature(℃), (b) salinity (psu), (c) potential density (kg/m³), (d) geostrophic current (m/s), and (e) AOU (mL/L) observed along the section line 3 off Enshu-nada in late summer in 1999. Geostrophic currents are calculated using a pair of CTD stations relative to 1,500 db.

イルを見ればより明瞭である。密度場は暖水塊構造に対応して25.0σ_θの層が厚くなっているのが特徴的である（Fig. 3(c)）。速度場はFig. 1の流軸図を見ても分かるように33°20′N付近に黒潮の強流帯があり，暖水塊周辺では高気圧性の循環構造が存在している（Fig. 3(d)）。

次に，一つ下流側に移って，遠州灘沖の測線2の鉛直断面図を見る（Fig. 4）。Fig. 1を見ると，観測時の黒潮は遠州灘沖を大きく蛇行し，140°E線上ではちょうど伊豆海嶺の谷間にあたる32～32°30′Nを北東向きに流れ，その後向きをほぼ真北に変えて海嶺東側の等深線に沿って流去しているように見える。この測線上では紀伊半島沖に見られた暖水塊構造はもはや見られない。水温分布は32°30′Nに強い南北勾配が見られ，その南側では高温の亜熱帯モード水が広がっていて，黒潮流路の違いによる分布を除けば1999年の同じ測線上の観測結果と同等である（Fig. 4(a)）。測線1との違いは等値線の凹凸が目立ち，沿岸側の1200db以深の下層に2.5℃未満の低温構造が見られることである。塩分を見るとその等値線の凹凸はより顕著であり，異質な水塊が重畳していることを示すとともに1999年と同様に南側では34.2psu未満の低塩分水の貫入が見られる（Fig. 4(b)）。密度場は水温場と良く一致しており，遠州灘沖，つまり海嶺の西側，32°30′Nから34°Nにかけて下層から上層に向けて盛り上がった構造を呈している（Fig. 4(c)）。流速場は，密度分布に対応して遠州灘沖には低気圧性の循環構造が見られ，31°N以南には0.3m/s以上の比較的強い反流構造が見られる（Fig. 4(d)）。AOUの分布はほぼ等密度線に沿っており，1999年の観測と同様に海嶺の南側（東側）で6mL/L以上の古い水塊の存在が認められる（Fig. 4(e)）。

最後に，最も下流側に位置する房総半島沖の測線3の鉛直断面図を見る（Fig. 5）。水温分布を見ると，その等値線はほぼ水平であり，他の測線に見られたような強いフロント構造は見られない（Fig. 5(a)）。これはFig. 1の黒潮流路図から分かるようにこのときの黒潮は測線3に沿うように平行に流れており，そのためこのような水温の分布構造になっているものと思われ

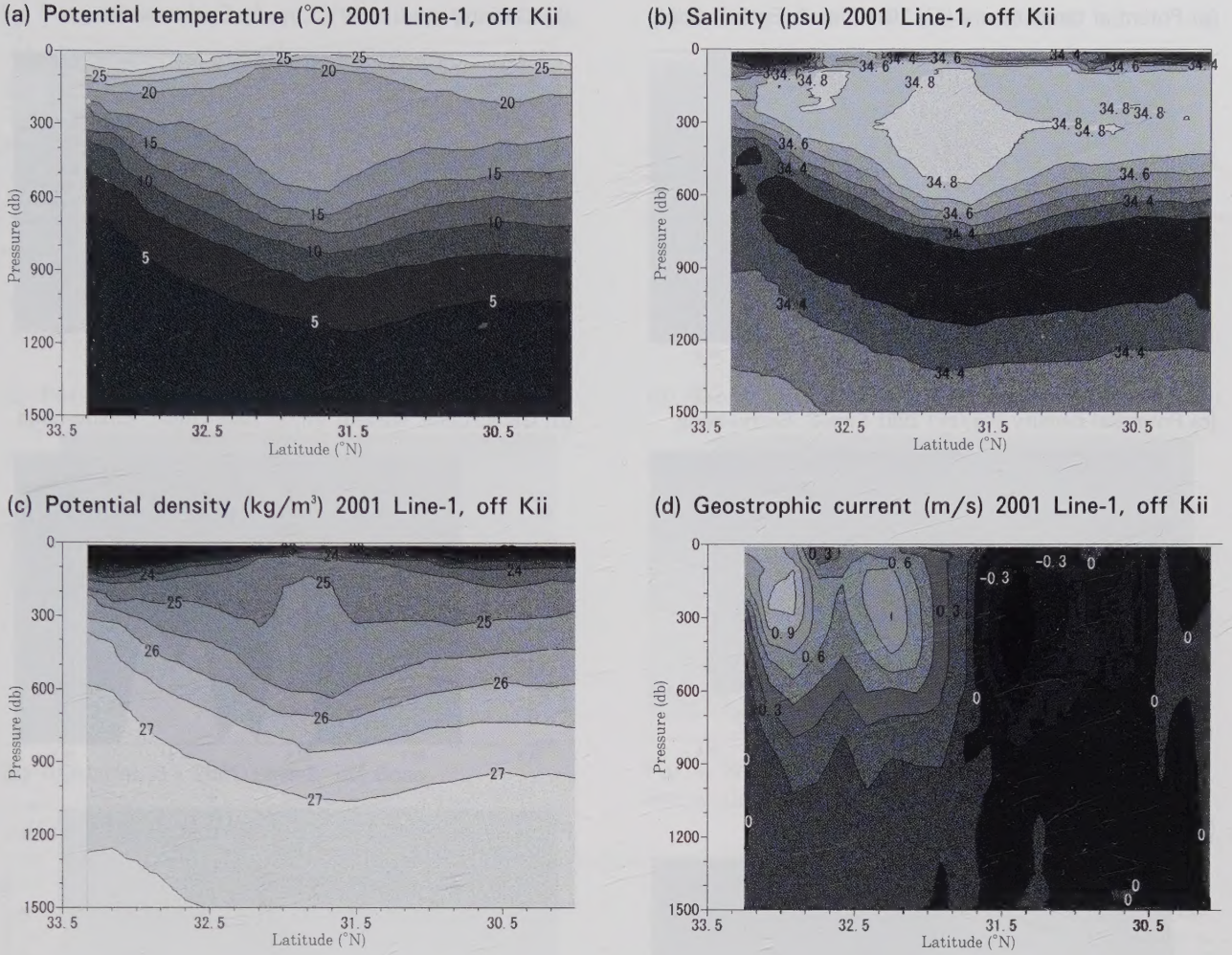


Fig. 3. Same as in Fig. 2 but for the line 1 off Kii Peninsula in late summer in 2001

る。塩分の分布も同様に水平であり，上流側の測線2において31°N以南に見られた34.2psu未満の塩分極小がこの測線では32°30′N以南で広く分布しているのが特徴的である（Fig. 5(b)）。1998年初夏の同じ測線上の観測でも同様の構造が見られたが，このことは亜寒帯域から続流を横切ってこの海域に比較的新しいNPIWが直接，しかも定常的に貫入していることを示す結果である（Yasuda *et al.*, 2001; Joyce *et al.*, 2001）。水温と塩分で規定される密度場も，当然の結果としてその等値線はほぼ水平であるが，細かく見ると，南北に凹凸が存在する（Fig. 5(c)）。特に27.0σ_θの等値線に着目すると32°40′N付近で下に凸になっており，塩分の分布と合わせて見ると，Yasuda（1997）やShimizu *et al.*（2001）が指摘しているようにオホーツク海起源を特徴づける低渦位水が変質しながらこの位置に流入している可能性が示唆される。また，密度分布に対応してこの位置には比較的強い反流構造が見られる（Fig. 5(d)）。そして，800～1100dbの塩分極小が存在する位置のAOUは両側に比べて小さくなっており（下に凸の構造），このことからも新しいNPIWが流入していることが分かる（Fig. 5(e)）。

以上，鉛直断面図を見て，観測時の水塊構造の概要が分かった。以下では，その南北分布と東西分布の違い

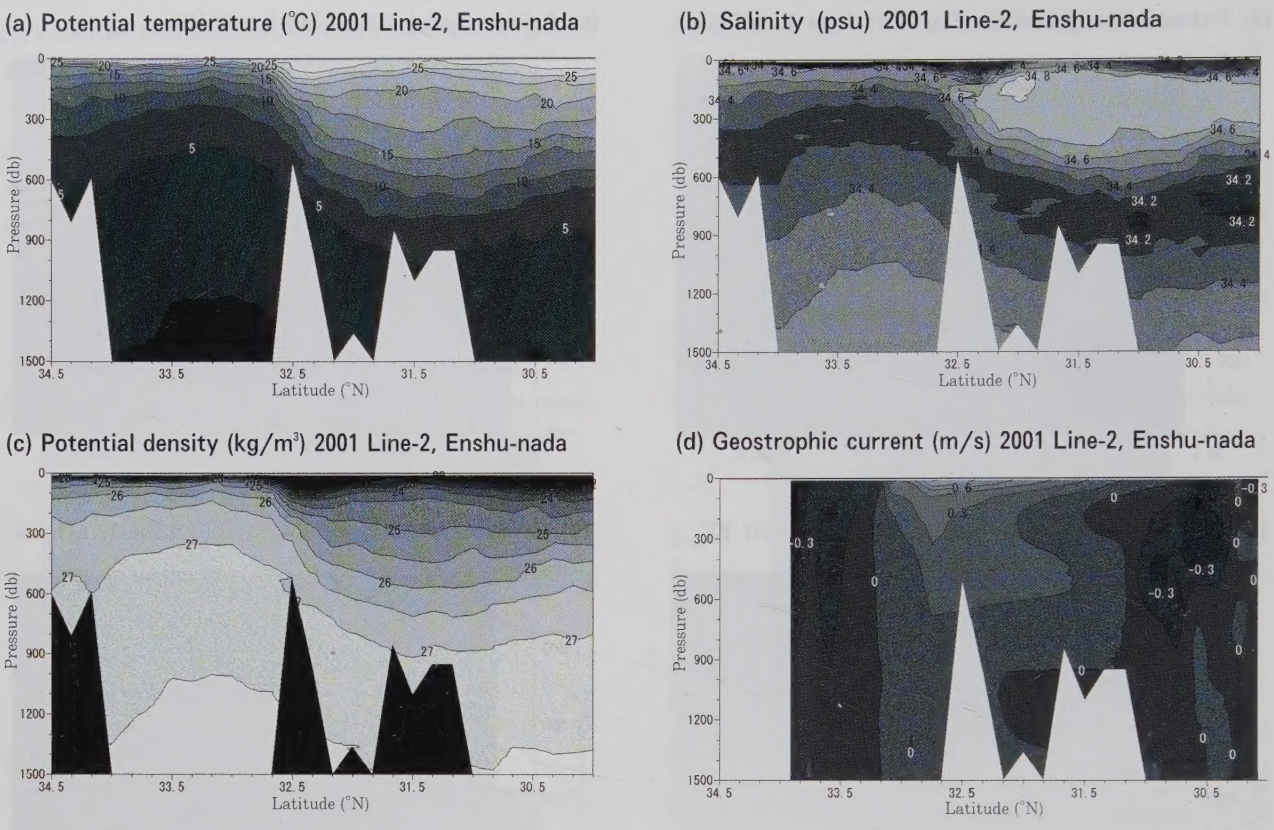


Fig. 4. Same as in Fig. 2 but for the line 2 off Enshu-nada in late summer in 2001

をより細かく見るため，等密度面上の分布を調べてみる。

等密度面分布

各測線の等密度面上の塩分とAOUの断面図と測点ごとのプロファイルを重ね書きしたものをFig. 6～Fig. 9に示す。なお，これらはそれぞれFig. 2～Fig. 5の(b)と(e)に対応している。まず，1999年の遠州灘沖の測線3の断面図を見る（Fig. 6)。全体的に塩分，AOUともにその等値線は等密度線と極めてよく似た分布になっている（Fig. 6(a), (b))。しかし，細かく見ると，以下のような特徴がある。まず，26.5～27.3σ_θに位置する塩分極小層では，32°30′～33°30′Nに34.25psu未満の分布がパッチ状に存在しており，前項でも指摘した通り海嶺の南側31°N以南には34.15psu未満の分布が見られる。南側の低塩分水の原因は先の説明で納得できると思うが，問題は海嶺北側（遠州灘沖）のパッチ構造である。ちょうどこの付近の流速場は弱いながらも反流構造をとっており，東側から低塩分水が貫入していることが推察される。このときの下流側の測線1には同じ緯度帯に34.15psu未満のパッチ状の低塩分構造が見られることから（Fig. 6(c))，実際に貫入があったことは間違いないようである。弱い西向きの流れに伴って海嶺の西側まで比較的新しいNPIWの貫入が見られるのは興味深い。また，Fig. 6(c)ではごく沿岸の35°N付近にも強い低塩分構造が見られ，Yang *et al.*（1993a, b）やSenjyu *et al.*（1998）が指摘しているような親潮系の低塩分水が房総半島の沿岸に沿って貫入していることを示唆する結果である。もう一つ興味深いのは，沿岸側の中層上部（< 26.0σ_θ）では，塩分の等値線が左斜め上向きになっており，南側より低塩分になっていることである。同様の構造はAOUの断面図でも見られ(Fig. 6(b))，南側に比べてAOUが高くなっており，酸素を消費された比較的古い水塊が下層から上層に向けて湧昇していることを示唆する結果であり，同様な構造は東側の測線の断面図でも見られる（Fig. 6(d))。

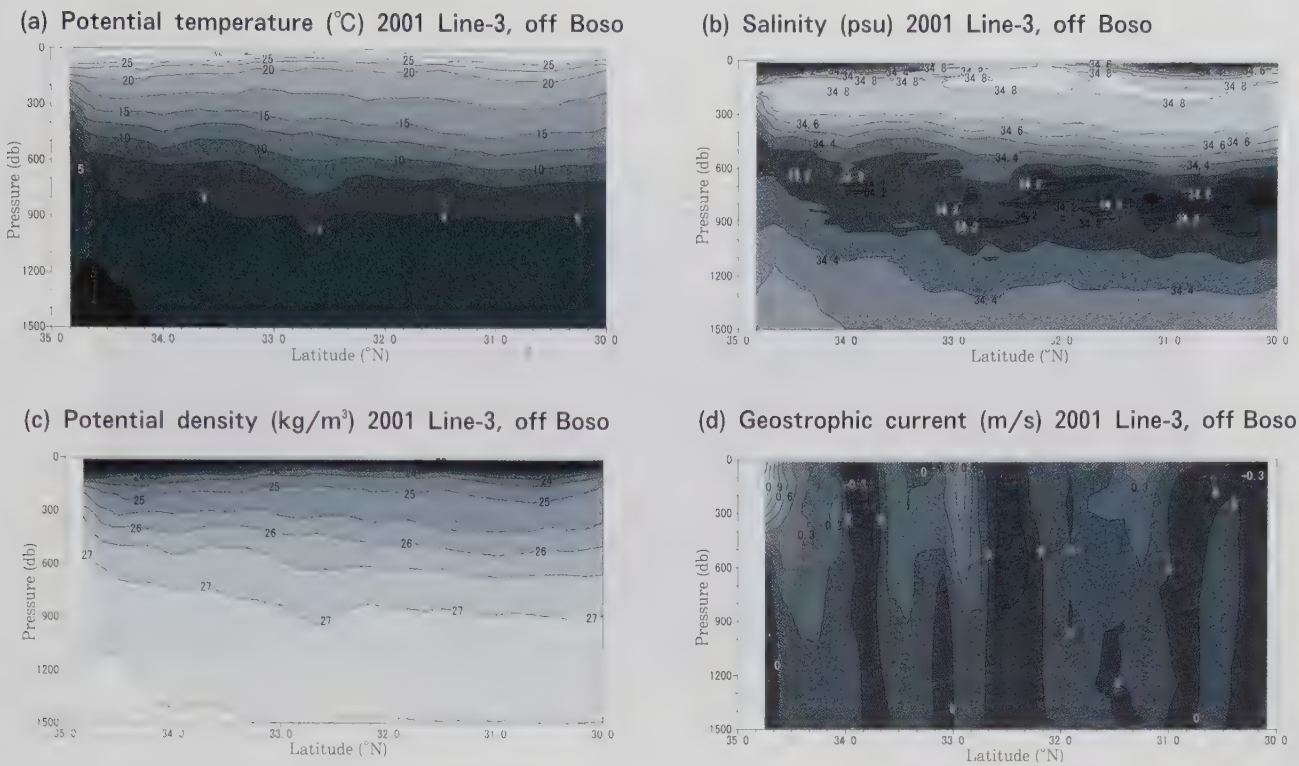
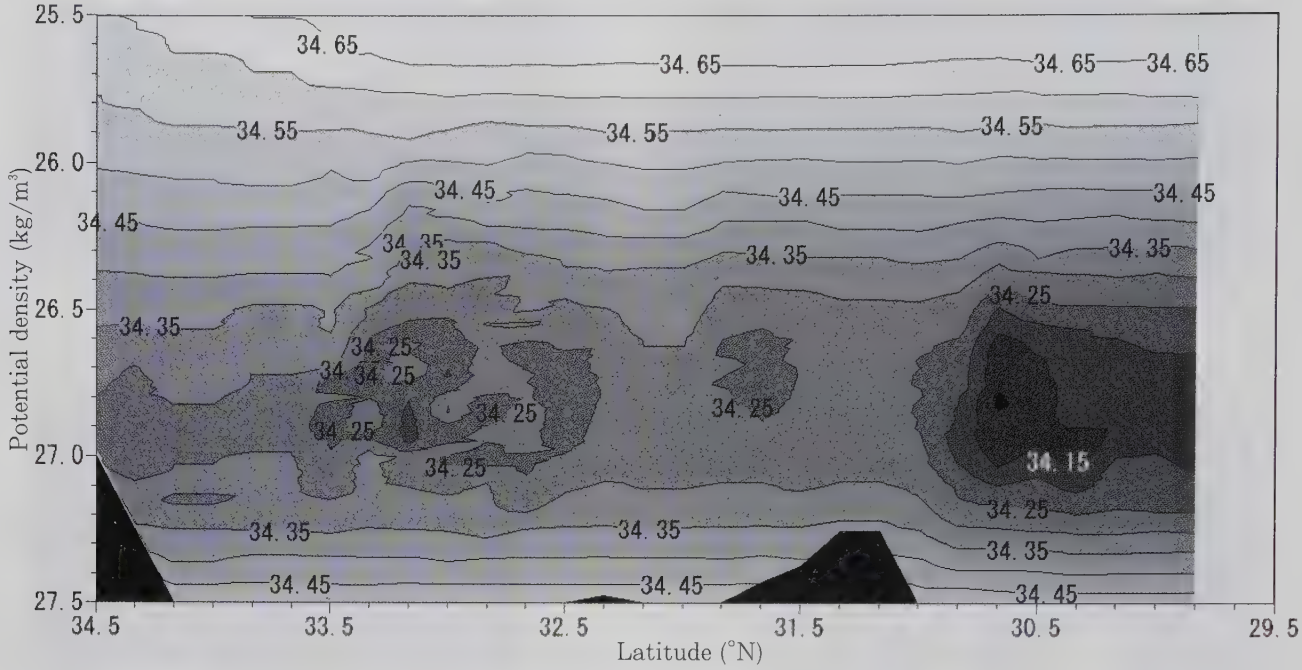


Fig. 5. Same as in Fig. 2 but for the line 3 off Boso Peninsula in late summer in 2001

そして，もう一度Fig. 6(b)に着目すると前項で指摘したように海嶺の南側（南東側）の中層下部（> 27.0σ_θ）では6mL/L以上の高AOU分布が見られる。以上述べた塩分とAOUの南北分布は測点のプロファイルを重ね書きするとより明瞭である（Fig. 6(e), (f)）。両図とも，黒潮流軸（33°20′N）より北側（内側域）の測点のプロファイルを破線で，測線が海嶺を横切る31°N以北と流軸との間のプロファイルを灰色線で，31°N以南のプロファイルを黒色実線で示してある。26.0～27.5σ_θでは，塩分は31°Nを境に北側（沿岸側）で高塩，南側（沖合側）で低塩になっており，しかもその分布はクラスター状になって不連続に分離しているのが特徴的である（小松ら, 2001）。27.0σ_θの中層下部でもプロファイルは明瞭に分離しており，この不連続構造は広い密度帯で分布していることが伺える。南北偏差の点からいえば，沿岸側では西岸境界流としての黒潮に伴って亜熱帯域から高塩分水が北上していることで理解できるだろう（Yasuda, 1997）。問題はその不連続分布である。前に指摘したとおりこの測線は伊豆海嶺を31°Nで横断しており，その影響が考えられる。同様な不連続構造は東側の房総半島沖の測線でも得られており（Yasuda *et al.*, 2001; 小松ら, 2001），その点の考察は次節で行う。最後にAOUのプロファイルを見ると，同様に31°Nを境に不連続な構造を呈しており，しかも，26.9σ_θを境に南北の分布が逆転していることが特徴的である（小松ら, 2001）。つまり，26.9σ_θより上層では北側で高AOU，南側で低AOUであるのに対して，26.9σ_θより下層では北側で低AOU，南側で高AOUになっている。この結果は，中層上部では比較的新しい（低AOUの）NPIWが沖合に貫入しているが，26.9σ_θより重いNPIWはその起源とする亜寒帯の海域では冬季の冷却によって直接形成されない（Talley, 1993）ため，中層下部では中層循環を経て変質した，つまり古くなったNPIWが沖合に出現するというシナリオでほぼ理解できると思われる。そして，この中層下部の沿岸側では比較的新しい低AOU（高酸素）の中層水が南方から黒潮とともにこの海域に入ってきていることが示唆されるが（Reid, 1997; Yasuda *et al.*, 2001; 小松ら, 2001），その起源についてはこのデータからは

(a) Salinity (psu) 1999 Line-3, Enshu-nada



(b) AOU (mL/L) 1999 Line-3, Enshu-nada

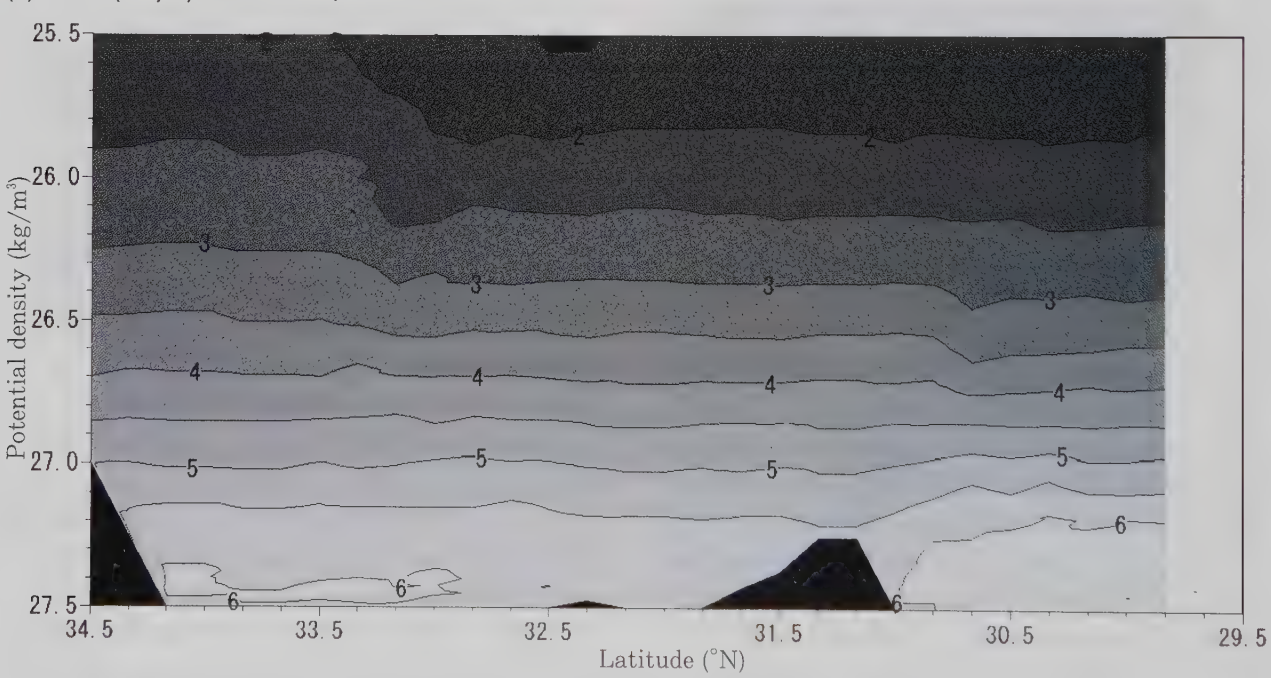
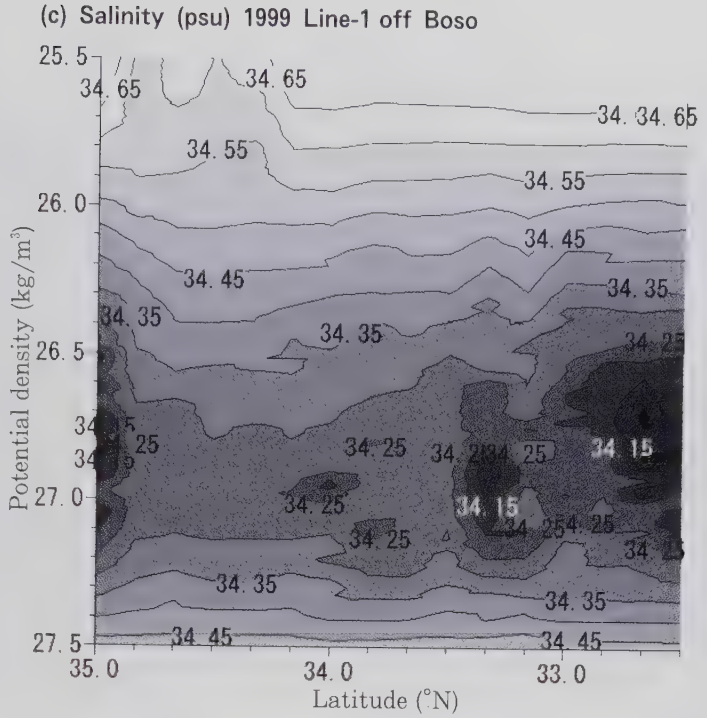


Fig. 6. Isopycnal cross-sections of (a) salinity (psu) and (b) AOU (mL/L) observed along the line 2 off Enshu-nada in 1999. Figures (c) and (d) are same as in figures (a) and (b) but for the line 1 off Boso Peninsula in 1999. Figures (e) and (f) are isopycnal profiles of salinity and AOU along the line 2, where black solid lines, gray solid lines, and black broken lines denote profiles obtained in the southern region (30～31°N), profiles in the Kuroshio region (31～32°20′N), and profiles in the coastal region (32°20′～34°30′N), respectively.



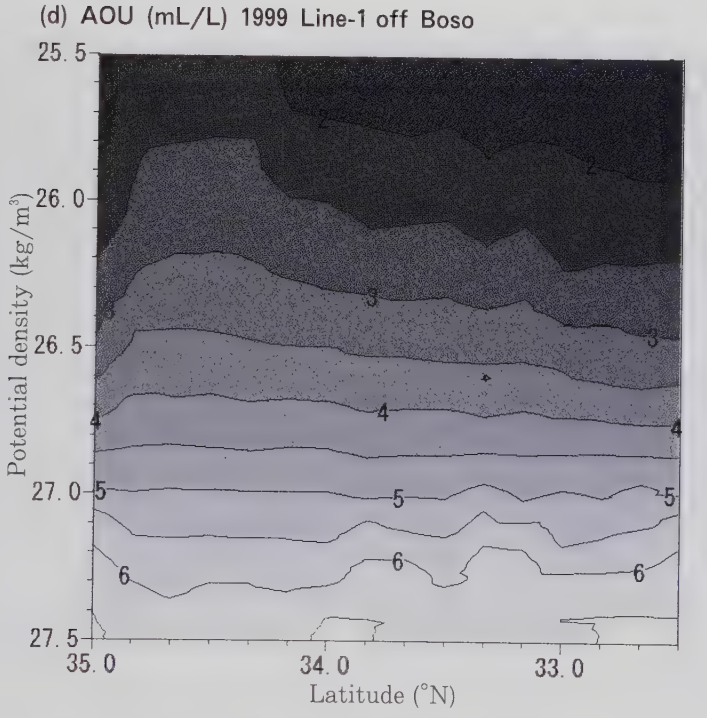
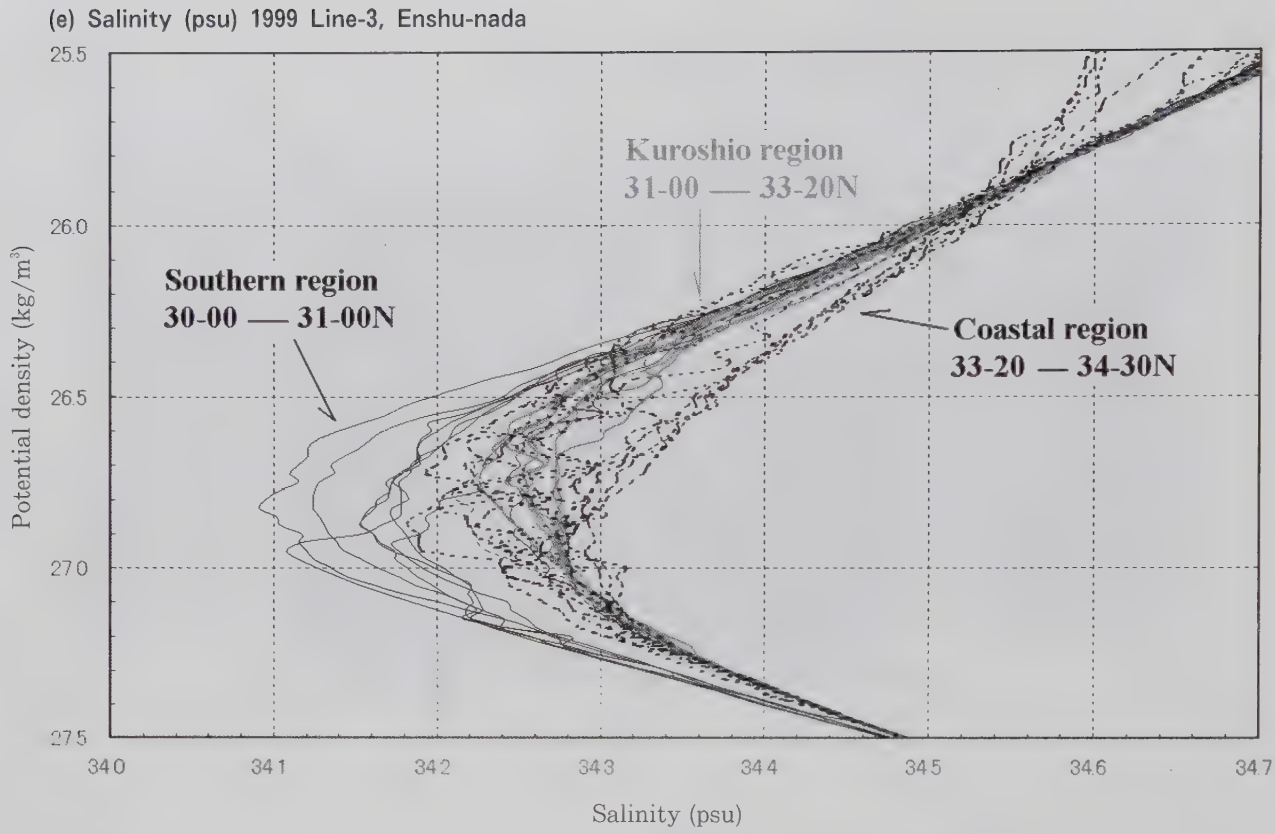


Fig. 6. (continued)



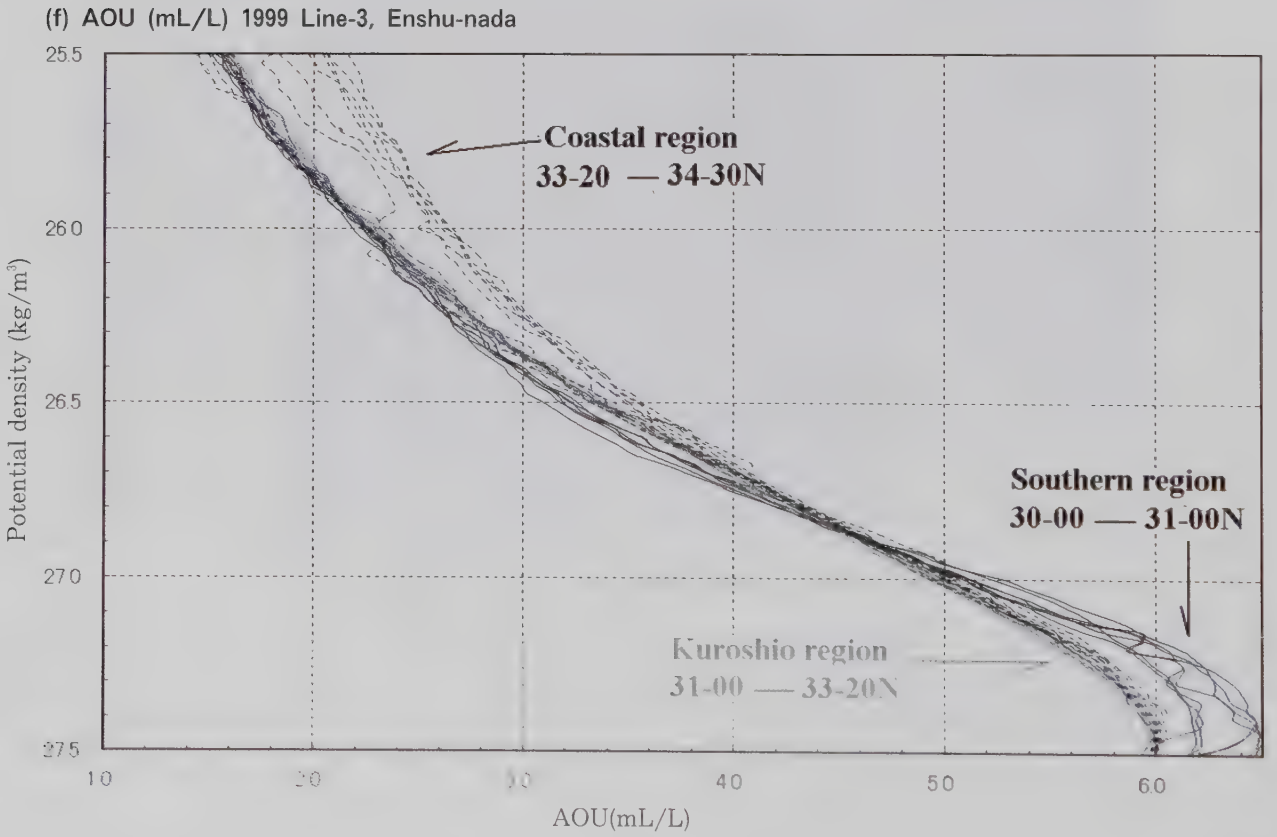


Fig. 6. (continued)

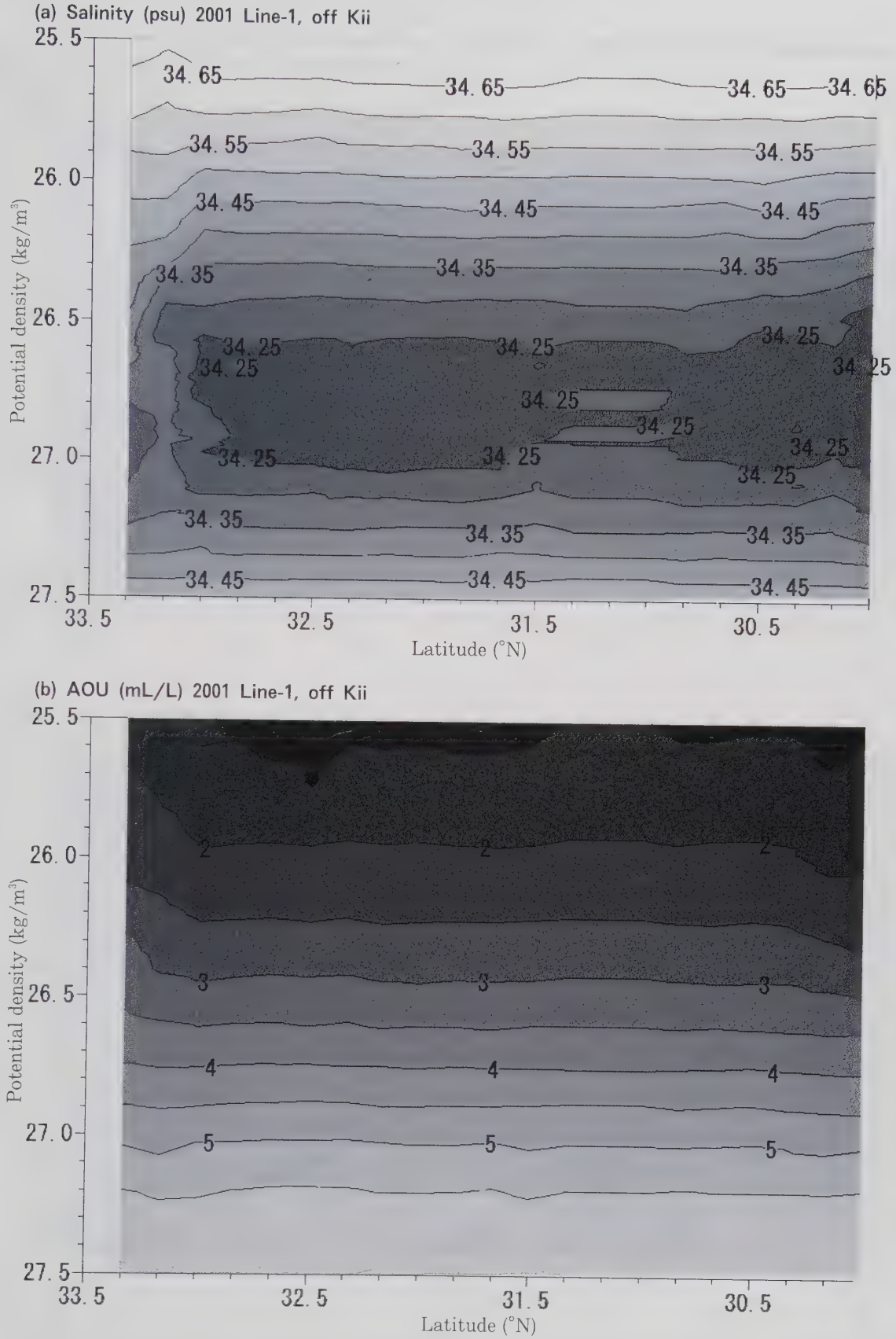
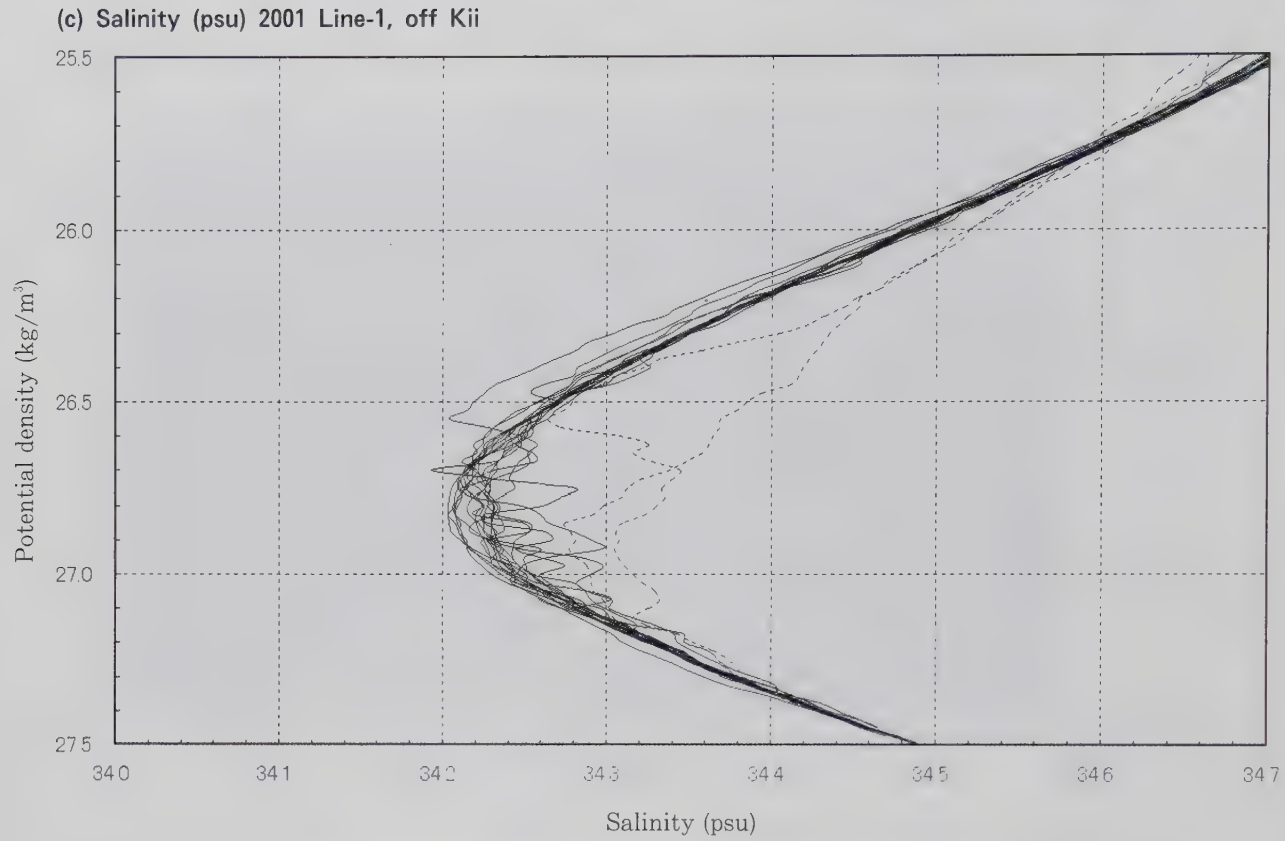


Fig. 7. Isopycnal cross- sections of (a) salinity (psu) and (b) AOU (mL/L) observed along the line 1 off Kii Peninsula in 2001. Figures (c) and (d) are isopycnal profiles of salinity and AOU along the same line, respectively, where broken lines denote the profiles obtained at the two stations closest to the coast.



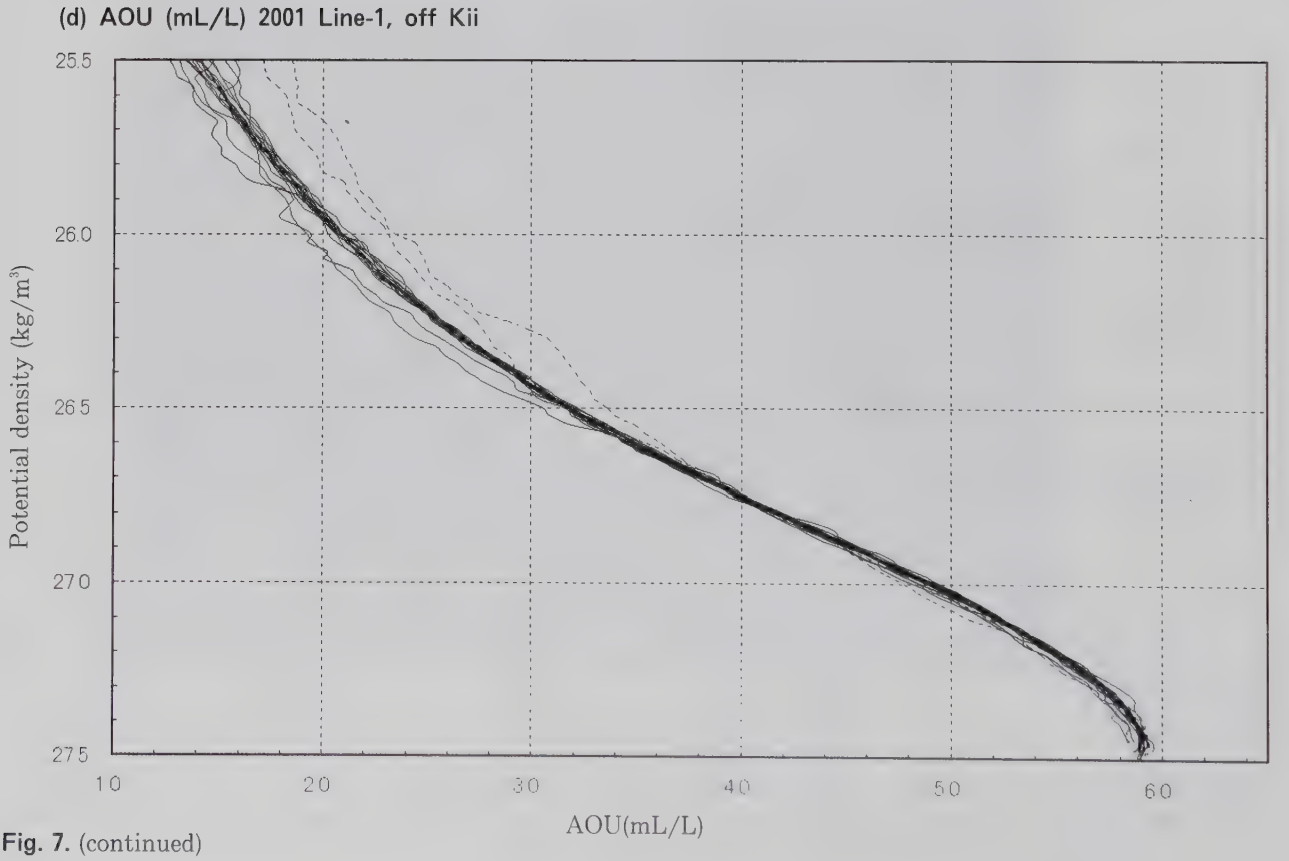


Fig. 7. (continued)

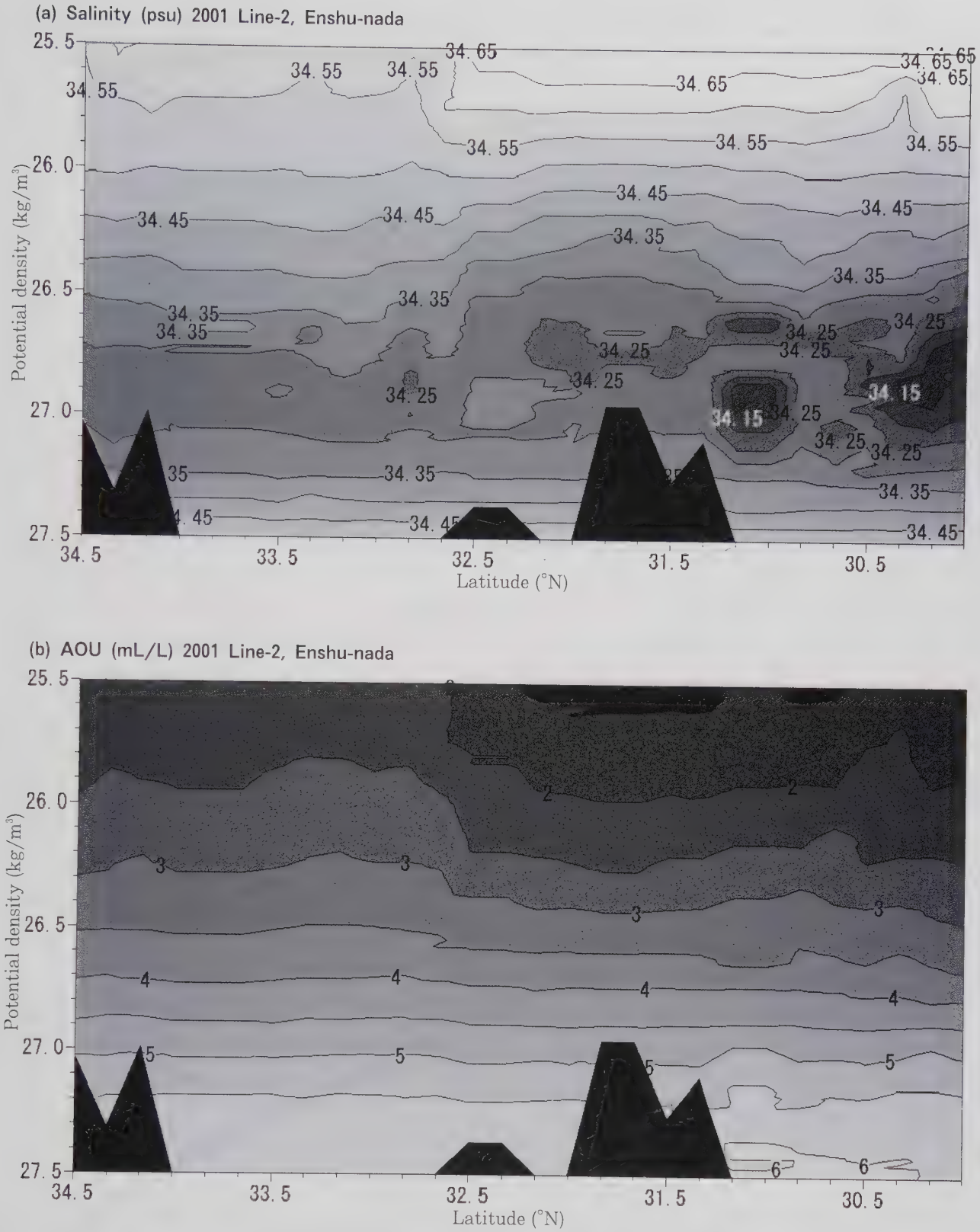
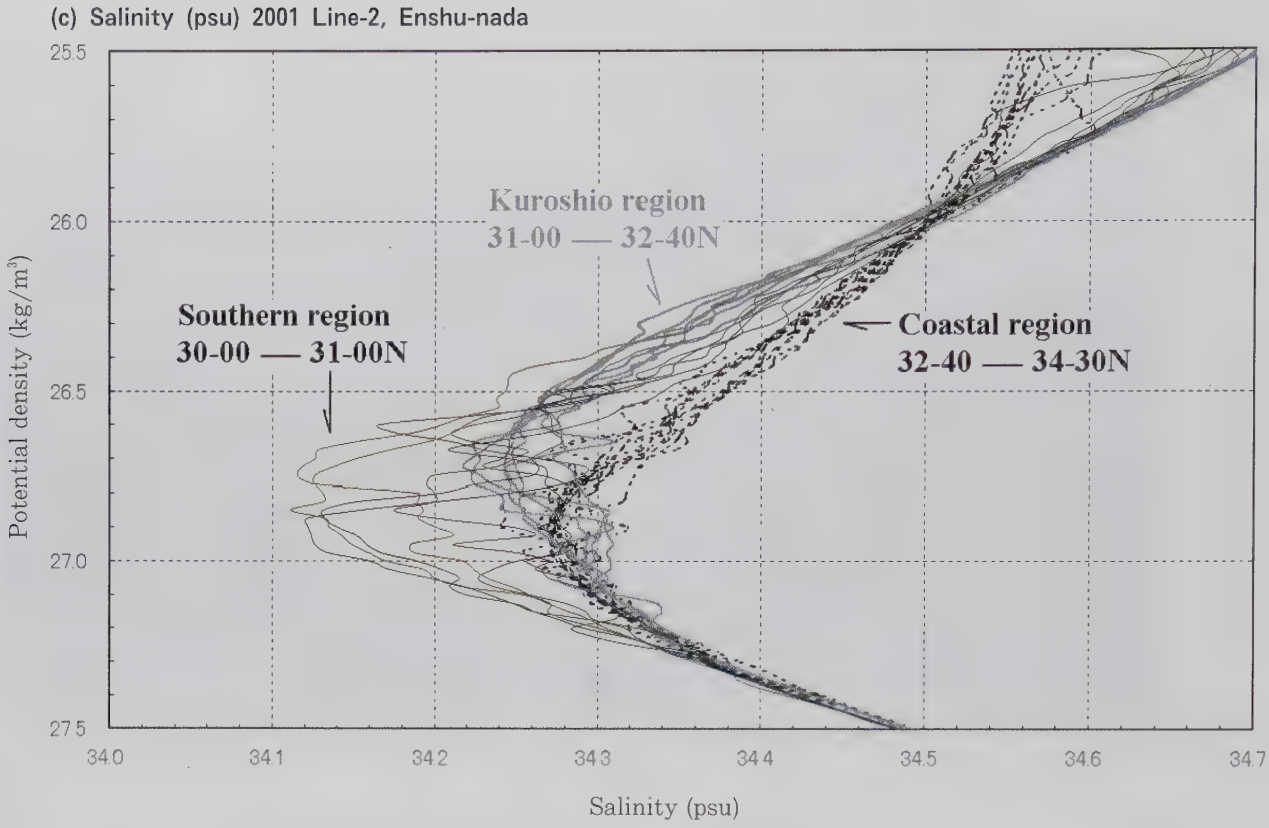


Fig. 8. Same as in Fig. 7 but for the line 2 off Enshu-nada. In figures (c) and (d), black solid, gray solid, and black broken lines denote profiles obtained in the southern region (30～31°N), profiles in the Kuroshio region (31～32°40′N), and profiles in the coastal region (32°40′～34°30′N), respectively.



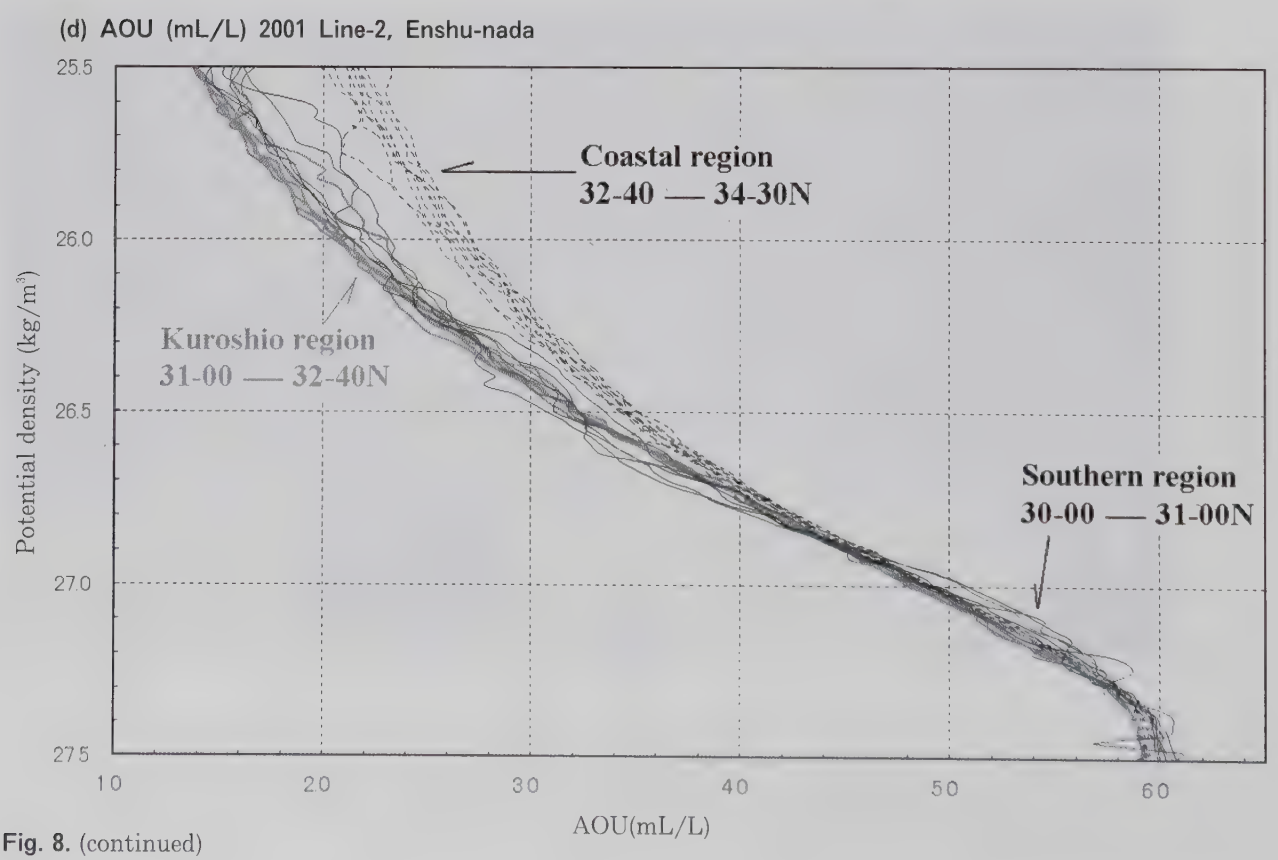


Fig. 8. (continued)

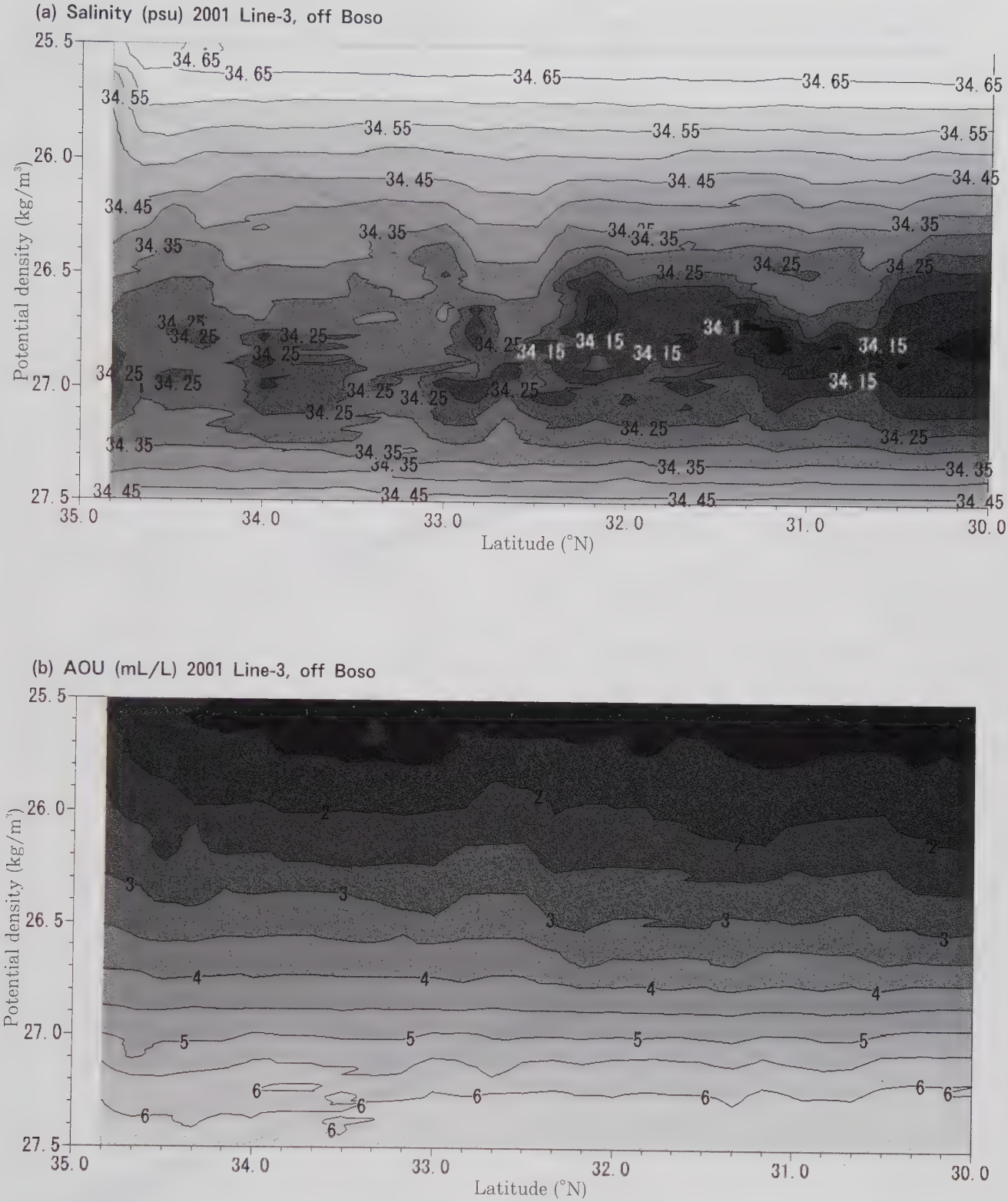
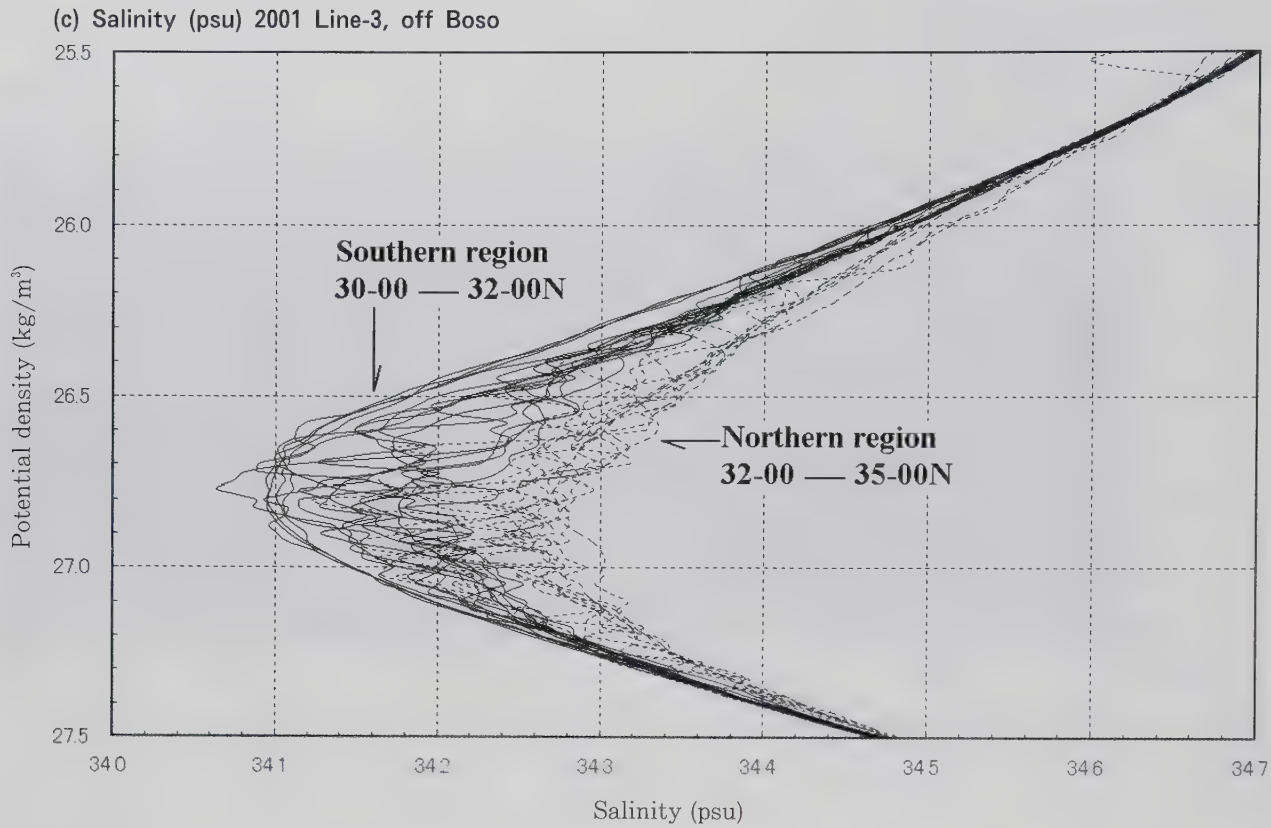

(a) Salinity (psu) 2001 Line-3, off Boso
Potential density (kg/m³)
Latitude (°N)
(b) AOU (mL/L) 2001 Line-3, off Boso
Potential density (kg/m³)
Latitude (°N)

Fig. 9. Same as in Fig.7 but for the line 3 off Boso Peninsula. In figures (c) and (d), solid and broken lines denote the profiles obtained in the southern region (30～32°N) and profiles in the northern region (32～35°N), respectively.



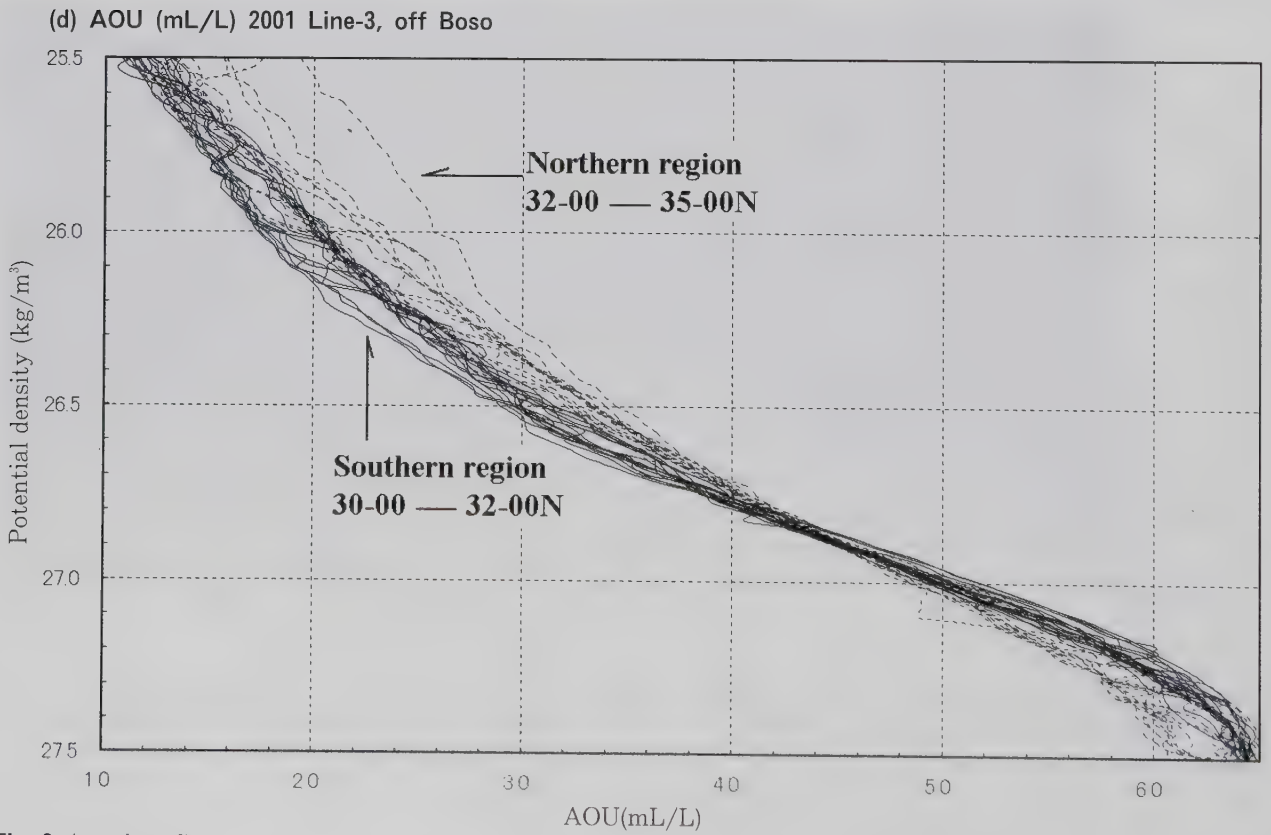


Fig. 9. (continued)

特定できない。もう一つ興味深い現象が，より上層の26.0σ_θ以浅に見られる。塩分のプロファイルを見ると(Fig. 6(e))，沿岸側では沖合よりも低塩になっていることである。先ほど断面図を見ながら触れたが，プロファイルが沖合のものに比べて立っていることから考えて，鉛直方向に拡散もしくは混合していることを示唆する結果である。

続いて，2001年の観測結果を西から順に見る。まず，紀伊半島沖の測線1の等密度面分布である（Fig. 7)。塩分，AOUともに等値線は水平であり，水塊が等密度面上に分布していることを示す（Fig. 7(a), (b))。プロファイルを見ても，Fig. 6(e)，(f）に見られたような南北不連続分布は見られない（Fig. 7(c), (d))。分布は沖合30～31°N付近を除いて比較的滑らかである。そして前項でも触れたように塩分極小値も34.2psu以上であり，東側の測線に比べて高い。ただし，沿岸付近では，遠州灘ほど顕著ではないが鉛直混合の影響が現れている（図では沿岸に最接の2測点について破線のプロファイルを示した)。次に遠州灘沖の測線2であるが（Fig. 8)，1999年の同じ測線上の結果と同様に，沿岸側の中層上部（<26.1σ_θ）では南側よりも低塩，高AOUとなっており鉛直方向の均一化が認められる(Fig. 8(a), (b))。これは等値線が左斜め上向きに傾いていることで判断できるが，その位置が2001年では32°40′N，1999年では33°20′Nと異なっているのは，黒潮流軸位置の違いに原因があり，内側域での鉛直混合の影響を示す結果となっている。その様子はプロファイル（Fig. 8(c), (d)）を見るとより明瞭であり，上層ではプロファイルが立っている。26.0σ_θ以深に注目すると32°40′N以北の内側域では約34.27psuの塩分極小が26.9σ_θを中心に現れており，極小層より上層ではプロファイルが立っている（Fig. 8(c))。黒潮流軸と測線が海嶺を横切る31°Nの間では34.24psuの塩分極小が26.7を中心に現れており，これは上流側のプロファイル（Fig. 7(c)）と比較すると，高塩，低密度である。海嶺の南東側31°N以南ではプロファイルの凹凸が顕著で，塩分極小は最低値で34.12psuであり，沖合では低塩分の新しいNPIWが貫入している結果となっている。1999年の観測と同様に沿岸側で高塩，沖合で低塩の構造である。一方，AOUのプロファイルだが（Fig. 8(d))，26.9σ_θ以浅で沿岸側が沖合より高AOUになっているのは1999年の観測と同じだが，26.9σ_θ以深では明瞭な不連続構造が見られない。特に，1999年では31°N以南の沖合に見られた6.2～6.5mL/Lの高AOUの水塊が見られない。この一因としては，2001年は1999年の観測時と比べて黒潮流軸が南にあったことが挙げられる。つまり，南方からの比較的低AOUの水を伴う黒潮が南編していたため，6.2～6.5mL/Lの高AOUの水塊が30°N以北には出現し得なかったと示唆されるが，推測の域を出ない。

最後に，房総半島沖の測線3の等密度面について述べる（Fig. 9)。塩分とAOUの断面図は双方ともに沿岸付近の上層部で鉛直混合の影響が見られる（Fig. 9(a), (b))。34°N以南の等値線はほぼ水平であり，32°30′N以南で34.15psu未満の塩分極小が見られるのが特徴的である。プロファイルを見ると(Fig. 9(c), (d))，1998年初夏の同じ測線上の観測と同様に32°Nを境に分布が南北に不連続になっており，塩分では沿岸側で高塩，沖合側で低塩であり，AOUでは26.9σ_θ以浅では沿岸側で高AOU，沖合側で低AOU，26.9σ_θ以深では逆の南北分布になっている（Yasuda *et al.*, 2001; 小松ら，2001)。その原因は前項で述べた通りである。

以上，等密度断面図から黒潮下流域の南北および東西方向の分布特性を見た。特に遠州灘沖の測線（1999年の測線3と2001の測線2）の沿岸付近の水塊はその沖合や黒潮の上流並びに下流側のプロファイルと比較して独特のプロファイルを呈しているのが特徴的である。その構造から見て，鉛直混合に伴う密度面を横断した水塊の均質化の影響が明らかである。次節では，東西方向の水塊の変質，展開過程と栄養塩分布との関連も交えながらこの点について考察する。

考　　察

前節で塩分とAOUの鉛直プロファイルが南北でクラスター状に分布するのを見た。2001年の測線ごとに等密度面上で各集団の平均をとってそのプロファイルを描いたのがFig. 10である。集団は，紀伊半島沖の測線1については沿岸の2測点を除いた全ての測点，遠州灘沖の測線2については南から伊豆海嶺の南東側(30～31°N)，伊豆海嶺の西側から黒潮流軸まで(31～32°30′N)，遠州灘沖の内側域（32°30′～34°30′N）の測点，房総半島沖の測線3については32°Nを挟んで南側と北側の測点からなる。塩分のプロファイルでは(Fig. 10(a))，全体的に測線1，測線2の沖合側(30～31°N)，測線3の沖合側（30～32°N）の順で東側ほど低くなっていて，東ほど低塩分の新しいNPIWの影響を受けていることを示す。塩分極小の存在する密度帯は東ほど重くなっているように見えるが，元々凹凸の激しい密度帯のプロファイルを平均した部分なので現実にそうなっているのかについてはこの図からは判断できない。沿岸よりの集団のプロファイルに目を向けると，測線2のプロファイルは内側域，黒潮域ともに26.0σ_θ以深では測線1よりも高塩分であり，測線

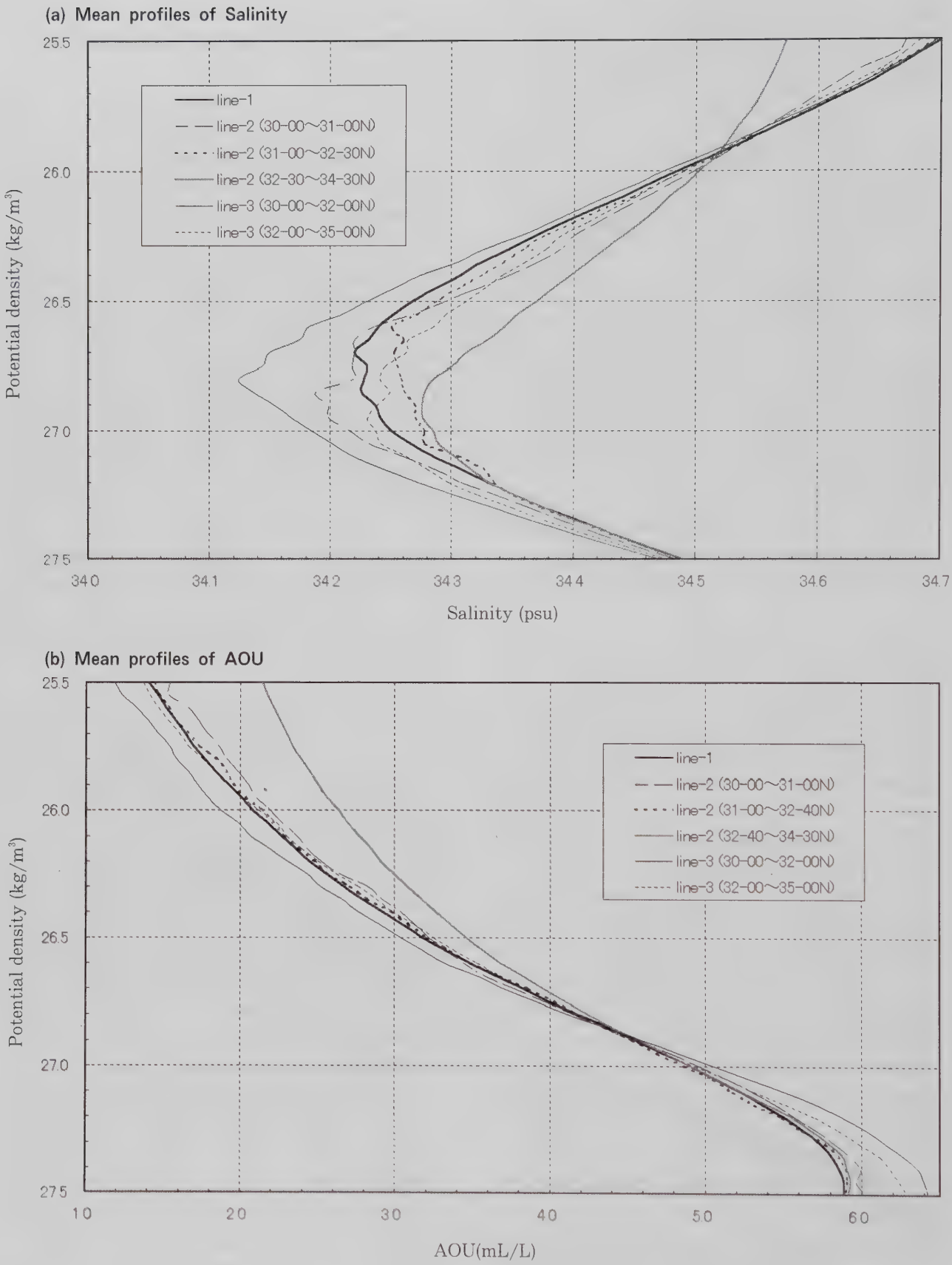


Fig. 10. Isopycnal profiles of (a) salinity and (b) AOU observed in 2001, which are calculated by ensemble mean on isopycnal surfaces for each cluster of profiles

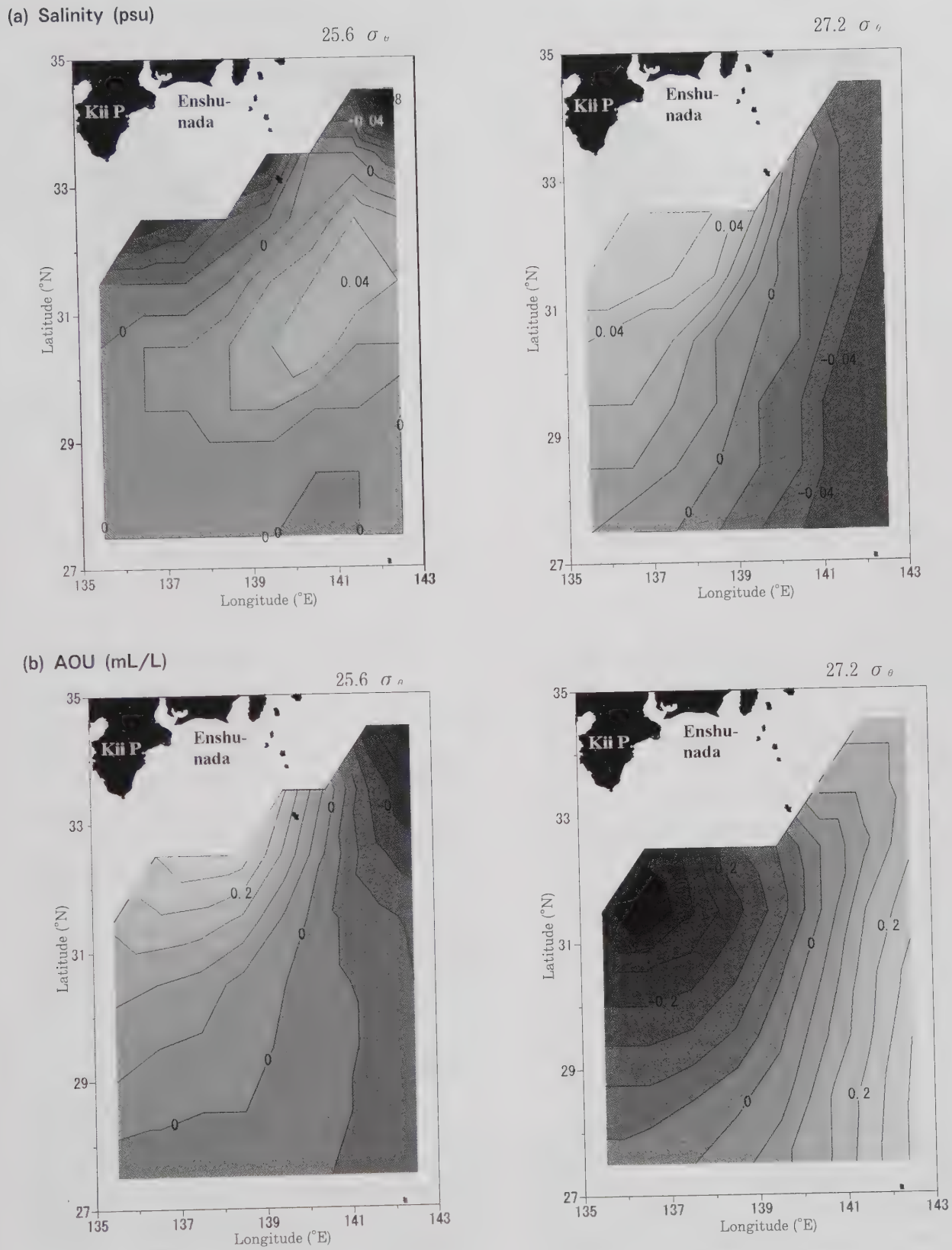


Fig. 11. Distributions of (a) salinity, (b) AOU, and (c) nitrate on the isopycnal surfaces of 25.6 σ_θ and 27.2 σ_θ. Values are deviations from averages on the isopycnal surface in the region. The averages are 34.66 psu on 25.6 σ_θ surface and 34.30 psu on 27.2 σ_θ for salinity, 1.23 mL/L on 25.6 σ_θ and 5.53 mL/L on 27.2 σ_θ for AOU, and 8.82 μmol /L on 25.6 σ_θ and 39.23 μmol/L on 27.2 σ_θ for nitrate.

(c) Nitrate (mmol/L)

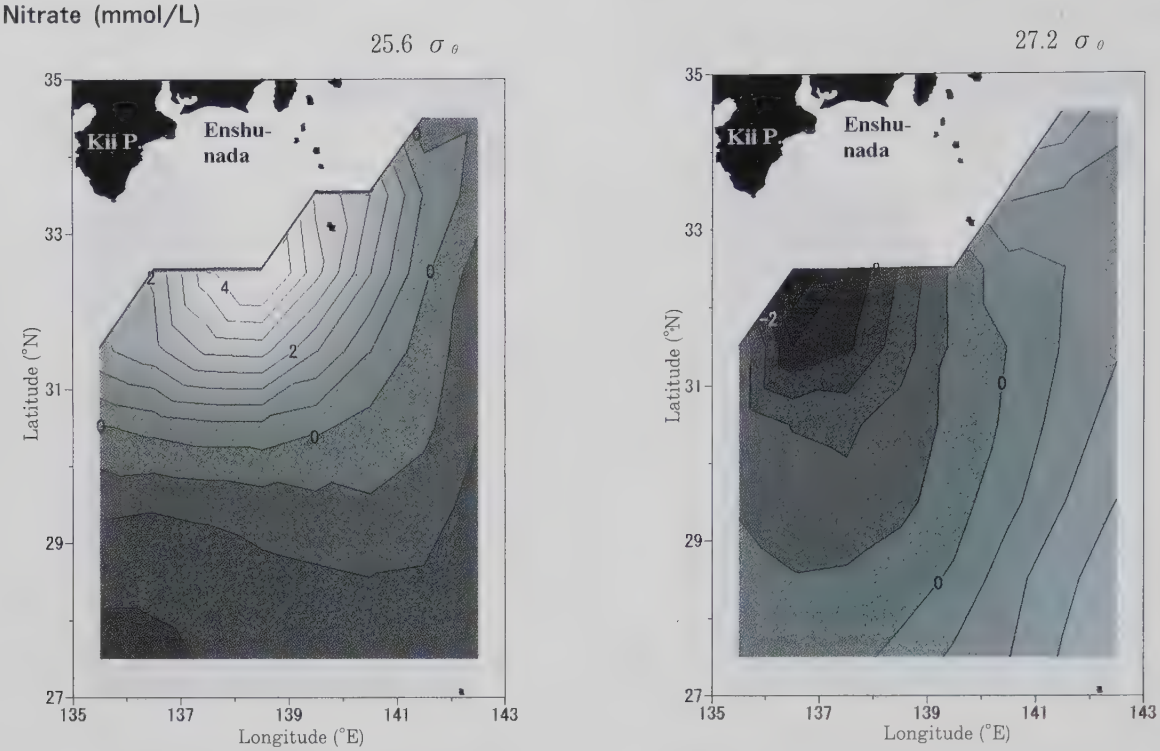


Fig. 11. (continued)

3の32°N以北のプロファイルは測線1に比べて26.9σ_θ以浅では高塩，以深では低塩の傾向にある。これらの集団のプロファイルを見て他の集団から最もはずれているのは測点2の内側域，つまり遠州灘沖のプロファイルであろう。これ以外は26.2σ_θ以浅でプロファイルがよく一致している。しかし，遠州灘沖のプロファイルは，塩分極小層以浅ではプロファイルが立っており，前節で述べたように鉛直方向の均質化が進んでいるように見える。中層では等密度面上の水平混合が支配的だが遠州灘沖合は鉛直混合の影響が周囲に比べて強いことを示している。AOUのプロファイルでもこの傾向は同様で，遠州灘沖のプロファイルは他から大きくはずれている（Fig. 10(b)）。また，AOUのプロファイルで特に興味深いのは，遠州灘沖のプロファイルのずれが26.8σ_θ以浅で大きいのに対して，26.8σ_θ以深では測点1と測点2の他の集団のプロファイルと比べてずれがほとんどないということである。26.8σ_θは塩分極小が出現する密度帯であり鉛直拡散もしくは鉛直混合の過程がこの密度帯を境に異なっているのか，現段階では判断できないが，少なくとも中層上部では遠州灘沖で鉛直方向の水塊の均質化が見られるのは間違いないようである。高塩分水の起源を西に求めると，水塊が等密度面上で水平混合していると仮定した場合，遠州灘沖のプロファイルは測線1よりも低塩化することはあっても高塩化することはないからである。塩分プロファイルの形状から，鉛直方向の一様化が進めば，深いところで高塩化，浅いところで低塩化になるのは自然の結果だろう。

また，前節で不思議な現象として指摘した房総半島沖の測線での32°Nを境にした南北不連続の原因だが，26.9σ_θ以浅についてはYasuda *et al.*（1996）が指摘しているように新しいNPIWが黒潮の南側（沖合）で南向きに貫入していることでほぼ説明できよう。しかし，26.9σ_θ以深の南北不連続は新しいNPIWの貫入だけで説明することは困難である。なぜなら，亜寒帯海域において26.9σ_θより重いNPIWは冬季混合の過程で形成されないからであり（e.g., Tally *et al.*, 1993），もし新しいNPIWが密度面を横断して直接貫入したのなら，その高酸素（低AOU）の特性から26.9σ_θを境にした南北AOUの逆転は生じないはずだからである。しかし，現実には26.9σ_θ以深で南側は北側よりAOUが高くなっており，新しいNPIWが26.9σ_θ以深にまで直接貫入しているとは考えにくい。この26.9σ_θ以深の南北不連続は地形効果が一因となっている可能性を指摘しておきたい。Fig. 1の海底地形図を見ると房総半島沖の測線は32°30′N以北では海嶺の等深線に沿っているが，以南では大きくずれている。Sekine *et al.*（2000）は34.1psu未満のNPIWは伊豆海嶺の東側に限定されることを示しており，海底地形が中層水塊の分布に作用していることは確かなようである。なお，この測線を

沖合30°Nまで観測した1998年（Hiroe *et al.*, 2002）と今回の2001年の2回の事例だけではこの不連続現象が定常的なものであるかどうかは明確に判断できないが，気候値でも同様の不連続構造が明瞭に現れていることからほぼ定常的な現象であると推察される（World Ocean Atlas 1998; Conkright *et al.*, 1998）。しかし，北起源の新しいNPIWの貫入は間欠的であり，黒潮や黒潮反流さらには親潮の分布構造と強度が数日規模で変動している点を考慮して，この現象の時間変動を調べる必要がある。

遠州灘沖の中層水が特有のプロファイルを持つことが分かったが，注意しておきたいのは蛇行時の2001年だけでなく，直進時の1999年にも同様の鉛直方向の均質化が見られたことである（Fig. 6）。この海域は地形的特性から直進時でも同様の鉛直拡散，混合過程が活発に起こっていることが推察される。このことは塩分，AOUの気候値でも同様の結果が現れているので時期によって多少の強弱はあるにしてもほぼ定常的な現象であると推察される。Fig. 11はWorld Ocean Atlas 1998（Conkright *et al.*, 1998）の年平均気候値（1°×1°）をもとに作成した黒潮下流域の等密度面上の塩分，AOU，硝酸塩の水平分布図である。分解能が粗いので沿岸付近の分布が描けないのが残念だが，遠州灘沖中層水の鉛直方向の均質化はこの図からでもある程度推察できる。なお，図では25.6σ_θと27.2σ_θの等密度面上で図に示した領域内の平均値からの偏差を示してある。塩分の分布では（Fig. 11(a)），25.6σ_θ面では沿岸側で低偏差，沖合側で高偏差になっているのに対して，27.2σ_θ面では逆に沿岸側で高偏差，沖合側で低偏差になっている。この結果は今回の観測結果と矛盾しない。AOUの分布では（Fig. 11(b)），25.6σ_θ面では沿岸側で高偏差，沖合側で低偏差になっている。27.2σ_θ面では負偏差の中心が紀伊半島沖にあるので明瞭ではないが全体的に沿岸側で低偏差，沖合側で高偏差の傾向である。この結果も今回の観測結果と矛盾しない。硝酸塩は基本的にAOUと比例関係にあるので（e.g., 鷺, 1975），この分布もAOUと同様の結果である（Fig. 11(c)）。

最後に，Yang *et al.*（1993a, b）やSenjyu *et al.*（1998）が指摘している沿岸よりの親潮系水の貫入に関連して以下の点を注意しておく必要があるだろう。つまり，本稿の観測結果は親潮の勢力が比較的弱い晩夏に限定されている点である。遠州灘沖合の中層水の特異性をもたらすものは，塩分とAOUの鉛直プロファイルの突っ立ち具合から（Fig. 10），主に鉛直混合によるものと判断できるし，この特異性は気候値の結果から（Fig. 11），他の季節でも変わらないものと推定される。しかし，塩分，酸素，栄養塩の絶対量，ならびにその時間変動を議論する際には親潮系水の貫入効果を定量的に把握しておく必要があり，この点は今後の課題である。

結　　言

1999年と2001年の晩夏に潮岬以東の黒潮下流域のTOPEX/POSEIDON軌道に沿った黒潮を横切る測線で中層水の観測を実施した。その結果，遠州灘沖の黒潮内側域の中層水構造はその南側，及び黒潮の上流，下流側の構造と大きく異なることが分かった。塩分とAOUの等密度面プロファイルを見ると，この海域は他の海域に比べて鉛直拡散と混合の影響による水塊の鉛直方向の均質化が顕著であり，この現象は同海域で黒潮が直進していた1999年，蛇行していた2001年双方でも見られたこと，また気候値データでも同様の結果が見られることから，観測が晩夏に限定されているという点を考慮に入れても，ほぼ定常的な現象であると推察される。この鉛直均質化の過程が実際にどの程度起こっており，結果として水塊が時間的にどのように変質，展開していくかという定量的な問題は親潮の影響も含めてより詳細な解析が必要であり，表層への栄養塩供給とその後の水平的な移流拡散過程を考える上で非常に興味深い。中央水産研究所海洋生産部では，遠州灘沖合の138°E線に沿って黒潮を南北に横断するモニタリング調査を1999年から年4回，季節ごとに実施している。調査ではCTD観測の他に栄養塩，溶存無機炭素，植物プランクトンの現存量と光合成量，動物プランクトンの現存量等の計測も行っており，この点の解明が近い将来なされることが期待される。

また，最近，太平洋域の中層水の低塩化（Wong *et al.*, 1999）と高酸素化（Stott *et al.*, 2000）が指摘されているが，黒潮域でもその兆候が見られるのか興味あるところである。今回の観測と類似の調査を継続し，海域の生態系の長期変動との関連を検討したい。

謝　　辞

観測は中央水産研究所の調査船蒼鷹丸で実施した。観測では土井慈脩船長をはじめ乗組員の皆さんに多大なるご協力をいただいた。中央水産研究所の廣江 豊博士，東京大学の安田一郎博士，九州大学の増田 章博士には，本稿をまとめるにあたって有益なご議論をいただいた。また，中央水産研究所の斉藤 勉博士には1999年の観測でご協力いただいた。以上の方々に深く感謝いたします。なお，本研究は，文部科学省の研究プロジェクト「北太平洋亜寒帯循環と気候変動に関する国際共同研究

（略称，SAGE）」，中央水産研究所変動機構研究室の一般研究「日本周辺海域における水温等の長期変動特性の把握」で実施された研究の一部である。

文　献

Conkright M., Levitus S., O'Brien T., Boyer T., Antonov J., and Stephens C., 1998: World Ocean Atlas 1998 CD-ROM Data Set Documentation. Tech. Rep., **15**, NODC Internal Report, Silver Spring, 16pp.

Hiroe Y., Yasuda I., Komatsu K., Kawasaki K., Joyce T. M., and Bahr F., 2002: Transport of North Pacific intermediate water in the Kuroshio-Oyashio interfrontal zone. *Deep Sea Res. II*, **49**, 5353-5364.

Joyce T. M., Yasuda I., Hiroe Y., Komatsu K., Kawasaki K., and Bahr F., 2001: Mixing in the meandering Kuroshio Extension and the formation of NPIW. *J. Geophys. Res.*,**106**(**C3**), 4397-4404.

海上保安庁海洋情報部, 1999,2001: 海洋速報海流図.

小松幸生, 廣江　豊, 安田一郎, 川崎　清, 2001: 黒潮下流域における中層水塊の南北不連続分布について, 黒潮の資源海洋研究, **2**, 59-68.

小松幸生, 2002: 3次元生態系モデルによる黒潮域プランクトン現存量の変動機構. 黒潮の資源海洋研究, **3**, 29-33.

増沢穣太郎, 1965: 黒潮大蛇行, 科学, **35**, 588-593.

Owens W. B. and Millard R.C., 1985: A new algorithm for CTD oxygen calibration. *J. Phys. Oceanogr.*, **15**, 621-631.

Reid J. L. Jr., 1997: On the total geostrophic circulation of the Pacific ocean: flow patters, tracers, and transports. *Prog. Oceanogr.*, **39**, 263-352.

鷺 猛, 1975: 北西太平洋でのリン酸塩・硝酸塩・酸素消費量の相互関係. 海と空, **50**(**4**), 11-22.

Sekine Y., Watanabe S., and Yamada F., 2000: Topographic effect of Izu ridge on the distribution of the North Pacific intermediate water south of Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 429-438.

Senjyu T., Asano N., Matsuyama M., and Ishimaru T., 1998: Intrusion events of the intermediate Oyashio Water into Sagami Bay. Jap. *J. Oceanogr.*, **54**, 29-44.

Shimizu Y., Yasuda I., and Ito S., 2001: Distribution and circulation of the coastal Oyashio intrusion. *J. Phys. Oceanogr.*, **31**, 1561-1578.

Shiomoto A. and Matsumura S., 1992: Primary productivity in a cold water mass and the neighborhood area occurring off Enshu-nada in the late summer of 1989. *J. Oceanogr.*, **48**, 105-115.

Stott L. D., Berelson W., Douglas R., and Gorsline D., 2000: Increased dissolved oxygen in Pacific intermediate waters due to lower rates of carbon oxidation in sediments. *Nature*, **407**, 367-370.

Talley L. D., 1993: Distribution and formation of North Pacific intermediate water. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 517-537.

Tsunogai S., Ono T., and Watanabe S., 1993: Increase in total carbonate in the western North Pacific water and a hypothesis on the missing sink of anthropogenic carbon. *J. Oceanogr.*, **49**, 305-315.

Wong A. P. S., Bindoff N. L., and Church J. A., 1999: Large-scale freshening of intermediate waters in the Pacific and Indian oceans. *Nature*, **400**, 440-443.

Yang S.-K., Nagata Y., Taira K., and Kawabe M., 1993a: Southward intrusion of the intermediate Oyashio water along the east coast of the Boso Peninsula I. Coastal salinity-minimum-layer water off the Boso Peninsula. *J. Oceanogr.*, **49**, 89-114.

Yang S.-K., Nagata Y., Taira K., and Kawabe M., 1993b: Southward intrusion of the intermediate Oyashio water along the east coast of the Boso Peninsula, Japan II. Intrusion events into Sagami Bay. *J. Oceanogr.*, **49**, 173-191.

Yasuda I., Okuda K., and Shimizu Y., 1996: Distribution and modification of North Pacific interme diate water in the Kuroshio-Oyashio interfrontal zone. *J. Phys. Oceanogr.*, **26**, 448-465.

Yasuda I.,1997: The origin of the North Pacific intermediate water. *J. Geophys. Res.*,**102**(**C1**), 893-909.

Yasuda I., Hiroe Y., Komatsu K., Kawasaki K., Joyce T. M., and Bahr F., 2001: Hydrographic structure and transport of the Oyashio south of Hokkaido and the formation of the North Pacific intermediate water. *J. Geophys. Res.*, **106**(**C4**), 6931-6942.

水研センター研報，第5号，23－37，平成14年
Bull. Fish. Res. Agen. No. 5, 23-37, 2002

伊豆小笠原海嶺域における定期船航走水温の時空間変動特性 I. 年々変動

小松幸生*，友定　彰*，川崎　清*

Spatio-temporal variation of sea surface temperature observed by ferryboat in Izu-Ogasawara ridge I. Interannual variation

Kosei KOMATSU*, Akira TOMOSADA*, and Kiyoshi KAWASAKI*

Abstract Sea surface temperature (SST) was observed continuously from 1983 through 1997 by the ferryboat Ogasawara-maru, which made round trips every 5-7 days across the Kuroshio between Tokyo (35.6°N) and Chichijima (27.0°N) south of Japan. Focused on the temporal variation longer than one year, the section line can be divided into four regions based on the difference in characteristics of the variation: the coastal region (34.5°N－), the Kuroshio region (33－34.5°N), the intermediate region (28.5－33°N), and the southern region (27－28.5°N). The trend of SST was not clear in the above first and the third region, on the other hand, increase of temperature was found about 0.03℃/year in the second and the fourth region. Compared with variation of the Kuroshio current axis, the mode with a period of two years had high coherency in the first and the second region and the phase of this mode was late for a half of year from that of the Kuroshio. In the southern regions, the coherency versus the Kuroshio was very low.

Key words: sea surface temperature, ferryboat, interannual variation, Izu-Ogasawara ridge

伊豆小笠原海嶺域における表面水温の長期変動の実態はどうなっているのだろうか。表面水温の変動と黒潮流路の変動の間にはどのような関係があるのだろうか。

伊豆諸島を中心とする海域はイワシ，アジ，サバ類をはじめとする重要浮魚類の生息域となっている。この海域には黒潮が流れており，その流路が漁場形成や産卵場形成に与える影響は大きいが，その挙動は不規則であり，数値モデルによる流路の予測は未だに困難である。それゆえ，現状の黒潮予測は経験的事実をもとにした回帰的手法が主流であり現実的である。また，昨今，資源の長期変動を気候変動との関連で論じることが多いが，一見単純に見える因果律も一つ一つの過程をつぶさに追求していくと不明な点が多い。例えば，太平洋域ではエルニーニョ時の潮位上昇とサバ類の生残指標とが強い正の相関にあることが知られている（Sinclair *et al.*, 1985）が，変動機構の実態は不明である。変動の予測精度の向上はもちろんのこと，予測の基礎となる変動機構の解明には，不断のモニタリングが不可欠であり，黒潮域では水産研究所をはじめとする各機関が定期的に定線観測を行っている（友定，玉木，1989）。

中央水産研究所では，黒潮モニタリングの一環として，東京と小笠原父島を結ぶ定期船「おがさわら丸（旧船，小笠原海運(株)）」に航走水温計を設置し，1983年2月から1997年2月までの14年間にわたり表面水温の連続観測を行ってきた。この観測の大きな特徴は，観測密度の高さと期間の長さもさることながら，観測範囲が黒潮のはるか南方27°Nまで及んでいることである

2002年6月19日受理（Received on June 19, 2002）
水産総合研究センター業績 A 第23号（Contribution No. A 23 from the Fisheries Research Agency）
* 中央水産研究所，〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4 (National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura 2-12-4, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

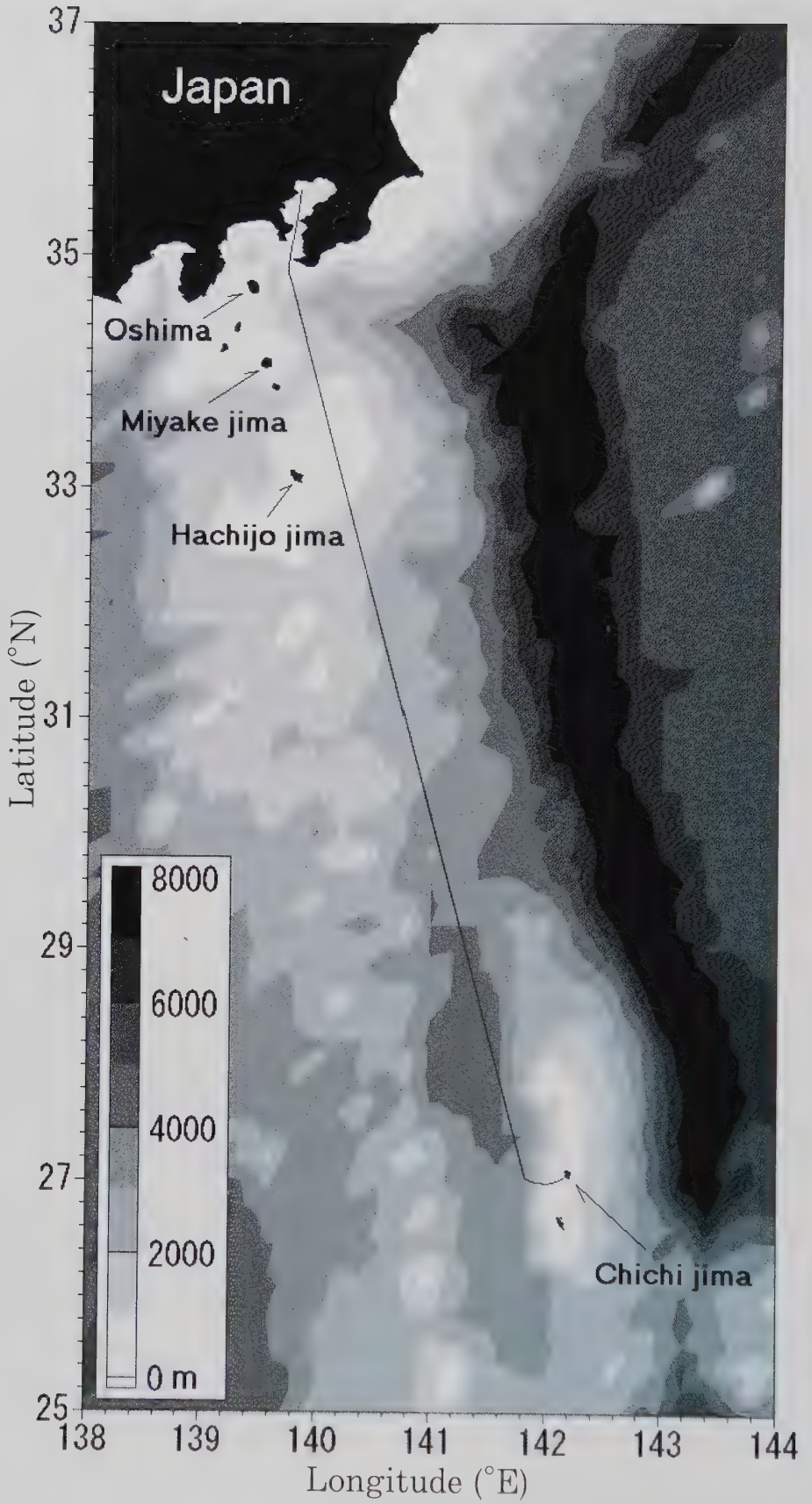


Fig. 1. Map of the regular line of the ferryboat Ogasawara-maru and topography around Izu-Ogasawara islands south of Japan

(Fig. 1)。現場観測のデータ量は本州沿岸域の充実度に比べると33°N以南は非常に乏しい。黒潮は蛇行時にはしばしば33°N以南を通過するし，特に最近の衛星海面高度データの解析では，東方から本州南方へ向かって伝播してくる中規模渦が黒潮と相互作用してその流路変動に影響していることが示唆されている（e.g., Ebuchi and Hanawa, 2000)。また，おがさわら丸が航行する伊豆・小笠原諸島の東側の海域は，海嶺の存在もあって黒潮の変動が特に激しく黒潮予測の特に困難な海域でもある。以上の点で，おがさわら丸の表面水温データは貴重である。

本論文では，1年以上の周期を持つ変動に着目し，伊豆小笠原海嶺域における14年間の表面水温の変動の実態を検討する。特にデータの特性を生かして，緯度方向の変動の違いを詳細に調べ，黒潮とこれらの変動との関係を定量的に論ずる。なお，同じデータを使用した1年以内の変動特性については続報（小松ら，2002）で論じる。

航走水温データ

データの取得

本稿で使用するデータは旧船「おがさわら丸（初代，3,550t,小笠原海運(株))」で取得したものである。この船は1979年4月から1997年2月まで，東京竹芝ー父島二見間を5～6日毎に片道29時間程度（巡航速力20kn）でほぼ同じ航路を往復していた（Fig. 1)。船内の機関室にサーミスタ水温計（(株)芝浦電子製作所，E-5701）を設置し海面下4mの取水口から汲み上げたエンジン冷却用海水を10分の時間間隔で自動計測・記録した。これを，1983年2月10日から開始し，途中1987年1月1日～1987年4月24日の中断を挟んで1997年2月12日まで行った。なお，水温計の分解能は0.01℃，精度は測定範囲の±0.5%以内で，位置情報は，東京と父島の出入港時，29°N通過時，および州崎，三宅島，八丈島，鳥島，西島並航時（航路と直交する時）に指標を付すことで記録されている。

データの格子化処理

航走水温データは以下の手順で処理し，緯度-時間の等間隔マップを作成した。

(1) データ取得位置の推定

時間情報と違い，位置情報の記録間隔は長く，不均一であり，しかも，そのほとんどが島嶼並航時の記録である。この場合，舵角のゆらぎは無視できるとして，データの取得位置は航路上における該当島嶼との最近点とした。また，位置情報が入らない時刻でのデータ取得位置は，前後の位置情報から船速を一定として線形内挿して算出した。

(2) 緯度方向の格子点化

航行中のデータ取得の緯度間隔はほぼ一定で，平均すると0.042°だが，わずかなずれがある。水温フロントを的確に抽出するために緯度間隔を0.05°として，ラインごとに線形内挿で揃えた。結果として，一定であった時間間隔にずれが生じるが，もともと停泊日数が一定でないので，時間方向については下記の方法で格子点化を行った。

(3) 時間方向の格子点化

同緯度での観測間隔は，通常中2日の停泊期間があるので最大で5日である。したがって，データの時間間隔を5日とし，(2) で算出した各緯度の水温値を時刻の3次スプライン関数で近似し，内挿することで時間間隔を揃えた。なお，より厳密な内挿法として，赤池情報量基準（AIC）によって近似式の次数を決定する手法の一つを試みたが，水温計の分解能を上回る有意な差は得られなかった。

(4) 品質管理

水温計の維持管理については，清掃は定期的に行っているが，センサの較正は行っていない。したがって，データには系統的誤差が含まれている可能性が十分にある。そこで，各緯度についてデータ時系列の長期トレンドを調べ，これを伊豆小笠原諸島域で観測された定地水温データのトレンドと比較することで除去することを試みた。結局，有意な系統的誤差は得られなかった。また，センサの絶対誤差について，CTDの表層水温データで検証することを試みたが，有意な比較が可能なだけのデータを収集することができず検証には至らなかった。なお，表面水温のトレンドについては次節で詳述する。

以上の手順により，時間方向に1983年2月10日～1997年2月12日，緯度方向に27.10～35.00°Nの5日×0.05°のデータセットが作成された。

解析結果

生データの一例として，航路上28.00°Nと32.00°Nにおける航走水温の全観測期間の時系列をFig. 2(a)に示す。この図は前節で説明した5日間隔のデータに13ヵ月の箱型移動平均を施して平滑化したものである。1年周期の顕著な季節変動の上に微細な短周期変動があり，時々スパイク状の水温の急変が見られる。28°Nと32°Nを比べると，各年夏季の最高水温には顕著な差は見られないが，冬季の最低水温には両者間で1℃以上，大きい年（1991年）には4℃近くの差が見られる。また，平滑化したデータを比べると1℃程度の差でほぼ同位

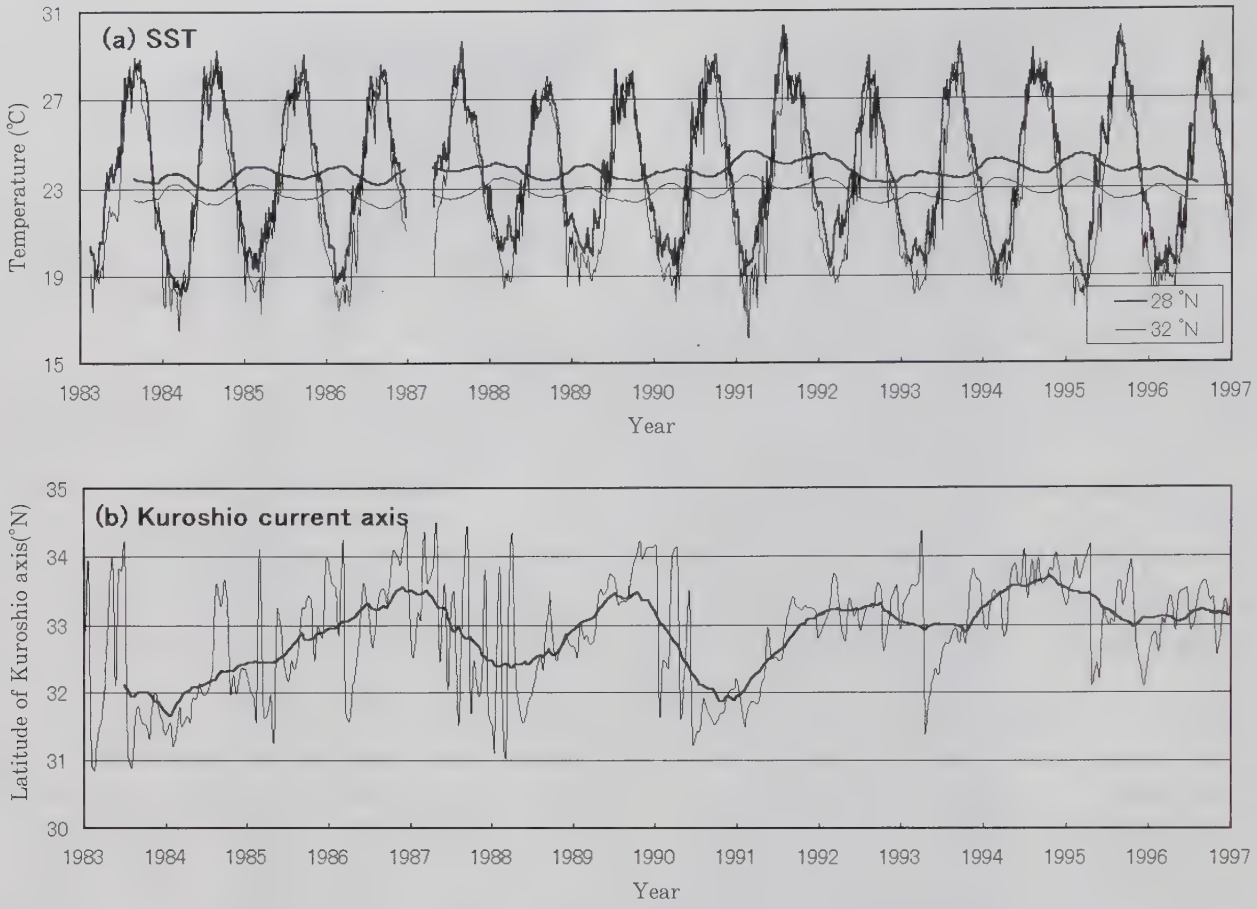


Fig. 2. (a) An example of time series of sea surface temperature (℃) from 1983 to 1997 observed by the ferryboat Ogasawara-maru at 28°N(thick lines) and 32°N(thin lines). The smoothed curves show the temperature averaged by the 13 months running mean. (b) Time series of the latitude (°N) of the Kuroshio current axis across the section line referred from Quick Bulletin of Ocean Conditions of Japan Coast Guard.

相の変動を示しており，数年以上の長期変動傾向（トレンド）が見られる。さらに，季節変動の振幅を年ごとに見てみると，必ずしも一定ではなく1988年，1989年の変動幅を最小として，これも数年以上の時間規模で変動しているようである。Fig. 2(b)は，黒潮強流帯の中心である黒潮流軸が航路を横切る緯度の時系列を示す。流軸情報は海上保安庁海洋情報部発行の「海洋速報」から読みとったもので，2週間ごとのデータである。航走水温と同様の移動平均を施すと2～3年周期の変動が見える。32°Nの水温に現れた1984年と1991年冬季の急激な低温化は，黒潮流軸が平均して32°N以南まで南下した時期に相当しており，黒潮流軸の変動と水温変動との強い相関関係をうかがうことができる。以下では，まず，航走水温値の検証も兼ねて，伊豆小笠原諸島域の定地水温データと比較し，緯度ごとの変動特性を検討する。

航走水温と島嶼沿岸水温の比較

Fig. 2(a)の平滑化された時系列から数年以上の長期変動傾向が見えるが，これが現実の変動であるのか，それとも航走水温計の系統誤差によるものなのか，この点について，伊豆小笠原諸島域で計測された沿岸水温と比較して検証する。ここで比較に用いた定地水温は，伊豆大島（以下，大島と略記する），三宅島，八丈島，父島で毎日計測されたものである（Fig. 1参照）。なお，父島以外の定地水温は島の東岸，つまりおがさわら丸の航路側で計測されたものである。これら4島のうち，父島はおがさわら丸の発着点であるため，定地水温と航走水温の計測地点の違いによる影響が最も小さいと思われる。そこで，トレンドを見る前に，まず，1984年1月から1996年12月までの期間の両者の散布図をプロットしてみる（Fig. 3)。定地水温は冬季の低温時には航走水温に比べて全体的に低いが，夏季の高温時には逆に航走水温より高くなっている。全期間で回帰曲線を引くと傾きが1.041（R^2=0.95）である。期間の途中から誤差が生じている可能性も考えられるので，前半（1983～1989年）と後半（1990～1997年）に分けて回帰直線を引いてみると，その傾きは前半が1.033

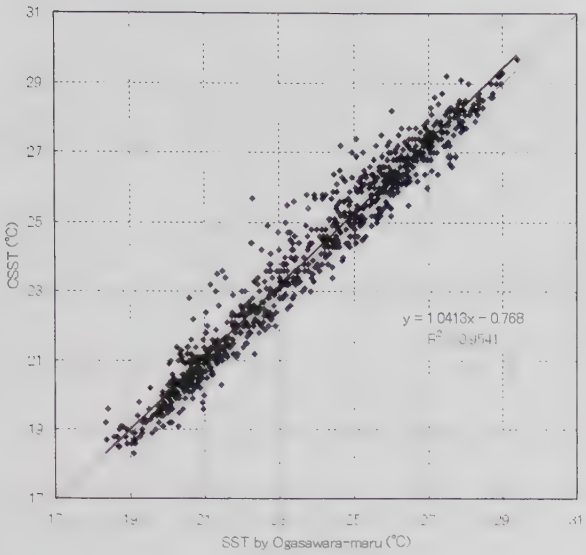


Fig. 3. The scatter diagram of the sea surface temperature observed by the Ogasawara-maru versus the coastal sea surface temperature (CSST) at Chichijima (27.08°N). The thick line denotes the regression line.

(R^2=0.94) で後半が1.046 (R^2=0.96) であり，期間を3つに分けても傾きの差は0.02未満である。下記の通り両者の分散が大きいので，傾きの差から系統誤差を評価することは難しい。両者の違いに着目すると，大きいときには両者に3℃近くの差がある。これらの原因として，定地水温の方が航走水温より大気の直接的影響を受けやすい状態で計測されたことが考えられる。なお，両者の差の標準偏差は0.61℃である。図では時間変動の傾向は分からないので，以下に，他の3島も含めて，両者の時系列を重ねてみる。

Fig. 4(a)～(d)は上記4島の定地水温と，島の位置する緯度での航走水温とを比較した時系列である。図では1年未満の変動を除去するために13ヵ月の箱型移動平均を施している。また，各島では沿岸潮位も毎時計測されているので，これも同様の平滑化を施してあわせて示す。緯度により定地水温と航走水温との差，並びに，これらの長期変動傾向が大きく異なることが分かる。

まず，父島について見ると (Fig. 4(a))，定地水温と航走水温との差は0.2℃程度であり，変動はほぼ一致している。他と比べて両者の差が小さいのは前述の通り同じ島内での計測値であるからだが，年によって差に違いがあり，差が全くない年もあれば，1992年のように0.3℃近くある年もある。ただし，長期トレンドを見ると，両者は同程度の変動傾向を呈している（水温の具体的な上昇率については次項で述べる)。また，父島では水温だけでなく沿岸潮位も同様に上昇しており，水温上昇による表層水の密度の減少に伴い海面高度が上昇したことを示唆している。しかし，数年規模の変動パターンについては沿岸潮位と水温は一致していない。そして，これらのパターンは黒潮流軸の変動パターン (Fig. 4(e)) とも異なっている。

次に，父島から緯度にして6°ほど北に位置する八丈島の定地水温と33.1°Nの航走水温の時系列を比較する (Fig. 4(b))。父島とは異なり，定地水温と航走水温との差が大きく，変動も異なっている。定地水温の変動パターンは，航走水温よりもむしろ沿岸潮位の変動に近い。黒潮流軸の変動 (Fig. 4(e)) と比較すると，定地水温と潮位は，1ヵ月から数ヵ月の遅れで流軸が北上すれば上昇，南下すれば下降を2年，3年の周期で繰り返している。そして，航走水温と定地水温との差は，黒潮が八丈島の位置する33.1°N以南に南下したときに大きく，北上したときには小さくなっている。これは，黒潮流軸が南下しているときには，黒潮はしばしば八丈島の南を迂回して東側を北上する，いわゆるC型流路をとることが多いため，同じ緯度でも島周辺と島から経度にして0.2°ほど東にある航路上とでは水塊が大きく異なることを示している。長期トレンドを見ると，ここでも航走水温に父島と同程度の上昇傾向が見られ，定地水温でも黒潮による大きな変動分を差し引くと同程度の上昇が見られる。

さらに北上して，三宅島の定地水温と34.1°Nの航走水温を比較すると (Fig. 4(c))，両者の変動は同位相で類似しており，定地水温を1.5℃ほど上昇させれば航走水温にほぼ一致する。八丈島の例とは異なり，この緯度では，島と航路の間を黒潮フロントが南北に横断することはほとんどなく，島と航路上で水塊が大きく異なる可能性は少ない。また，これら2つの水温の変動パターンは潮位変動ともよく一致している。同様の変動パターンは，大島の定地水温と34.75°Nの航走水温でも見られる (Fig. 4(d))。そして，このときは，両者の差は1℃程度であり，三宅島の場合に比べて0.5℃ほど小さくなっている。つまり，それだけ水温の東西勾配が小さいことを示している。もちろん，もっと短い変動に着目すれば，急潮や内側反流に伴う局所的かつ一時的な暖水の北上もあり，経度にして0.2°も違えばその変動パターンは大きく異なる。なお，短周期変動については本論文の続編で議論する。長期トレンドは，34.1°Nの航走水温でも先に挙げた例と同程度の上昇が見られる (Fig. 4(c))。しかし，同緯度の三宅島の定地水温と沿岸潮位には明瞭な長期トレンドは見られない。Fig. 4(d)の大島の例では，航走水温(34.75°N)も定地水温および潮位と同様に明瞭な長期トレンドが見られない。むしろ後半は下降気味である。

以上見てきた島の定地水温並びに沿岸潮位との比較

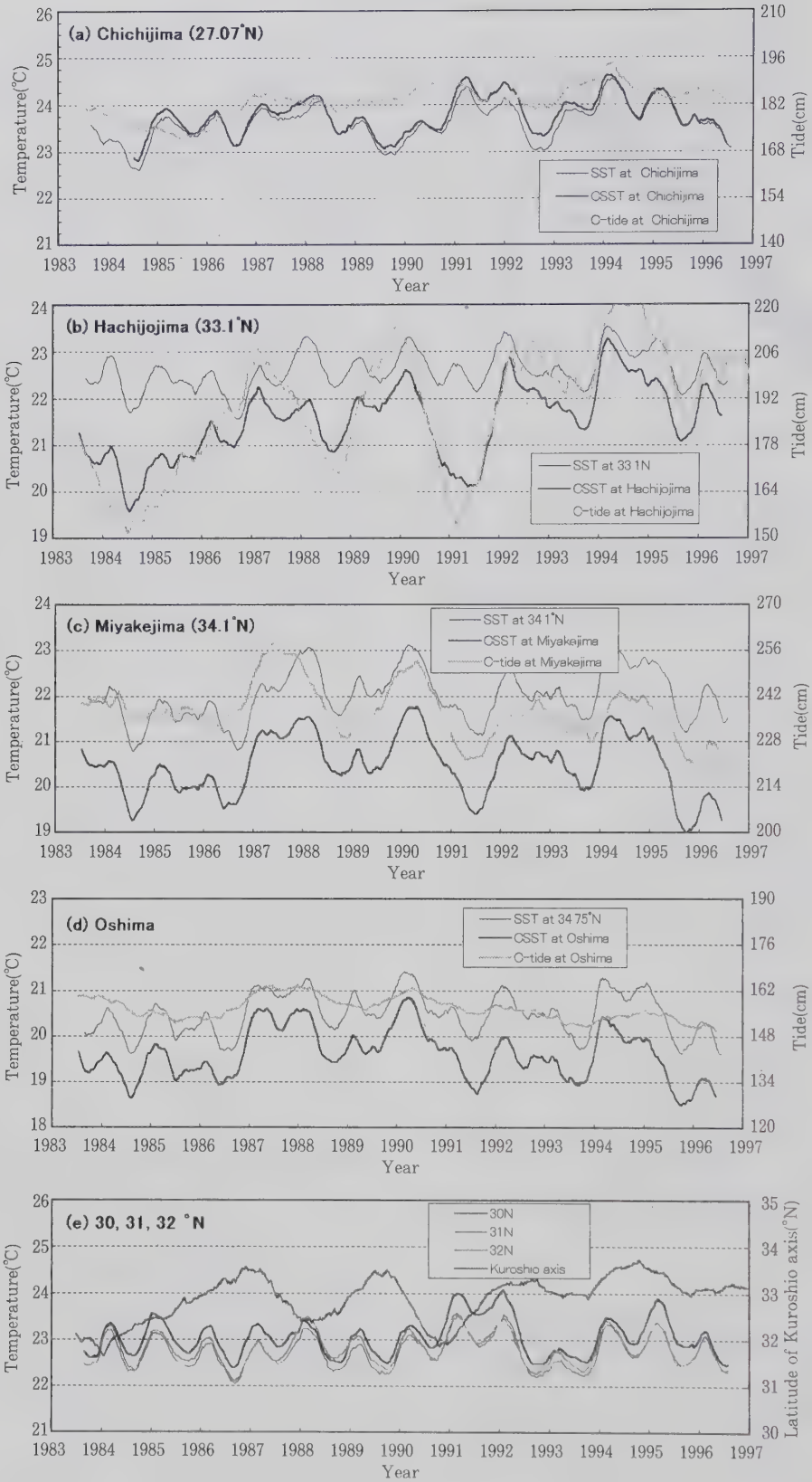


Fig. 4. Time series of the sea surface temperature (SST) observed by the Ogasawara-maru, coastal sea surface temperature (CSST), and coastal tide (C-tide), which are smoothed by the 13 months running mean. Data are obtained at Chichijima (a), at Hachijojima and 33.1°N on the section line (b), at Miyakejima and 34.1°N (c), and at Oshima and 34.5°N (d). SST observed at 28, 30, and 32°N are shown in figure (e) with the latitude of the Kuroshio axis which are all smoothed by the 13 months running mean.

から航走水温の長期トレンドは測器の系統誤差に起因するものではなく，現実の長期水温変動を表現しているものと判断できよう（航走水温計と同程度の系統誤差を沿岸水温計や潮位計が有しているとは考えにくい)。例え誤差があるとしても本稿の議論に支障をきたす程度のものではないと考える。しかし，父島（27.08°N)，33.1°N，34.1°Nの航走水温の長期トレンドで上昇傾向が見られるのに，大島の位置する34.75°Nでは明瞭な長期トレンドが見られないのは興味深い。では，島のない緯度帯での航走水温の長期トレンドはどうだろうか。30°N，31°N，32°Nの時系列をFig. 4(e)に示す。予想に反して，明瞭な長期トレンドは見られない。本州沿岸で長期変動傾向が異なるのは，外洋系水と沿岸系水の変動機構の違いで説明できるだろうが，航路の中間域で傾向が異なるのは何に起因しているのだろうか。以下では，この点を含めて，長期トレンドの緯度方向の違いを平年値からの偏差の変動を見ることで検討する。

トレンドの南北分布

航走水温の長期トレンドに見られる南北差をより明瞭にするために，ここでは，航走水温の年周期平年値からの偏差を以下のように抽出する。平年値は14年にわたる全観測期間のデータを365日の周期で重ね合わせてその集団平均をとることにより計算する。その結果をFig. 5(a)に示す。本州沿岸に最も近い35.0°Nを除いて，27.1°Nから33.0°Nの平年値は最大でも 1℃程度の差しかない。そして，その差は冬季から春季にかけて大きく，夏季から秋季にかけて小さい。この海域の日射量は，その強度，南北差ともに 6 月に最大で12月に最小となるが（Wallace and Hobbs, 1977)，図はこれに対して海洋の応答が 3 ヵ月ほど遅れていることを示している。35.0°Nの平年値が他と比べて著しく低いのは，この海域が通年，黒潮流路よりも沿岸側に位置するからである。この手法で得た年周期平年値は多少の凹凸が目立つが，本稿で対象とする程度の長期変動の解析には影響しない。Fig. 5(b)は標準偏差であるが，全体的に見て南側よりも北側の偏差が大きいようである。特に，冬季の海面冷却効果の年々変動を反映して，1 月から 3 月の偏差が大きい。

生の時系列データからこの平年値を差し引いた偏差に前項と同様に13ヵ月の移動平均を施したのがFig. 6である。Fig. 4とは縦軸の縮尺が異なることに注意してほしい。2 ～ 3 年周期の変動が卓越し，これが各緯度についてほぼ同位相の変動をしているように見える。長期トレンドは期間が短いので明瞭ではないが，27.1°Nと33°Nで上昇傾向が見られる。このデータに回帰直線を引いたときの水温の上昇率をTable 1に示す。卓越する変動の周期に対して観測期間が短いので上昇率の絶対値自体の信頼度は低いが，全球表面（陸面と海面）の温度は平均すると1980年前後の10年間で0.2℃ほど上昇しているという報告もある（e.g., Hansen and Lebedeff, 1988）ので，表の値は現実の変動傾向をある程度反映しているものと思われる。特に興味深いのは前に述べたように中間領域（29～32°N）で上昇率が

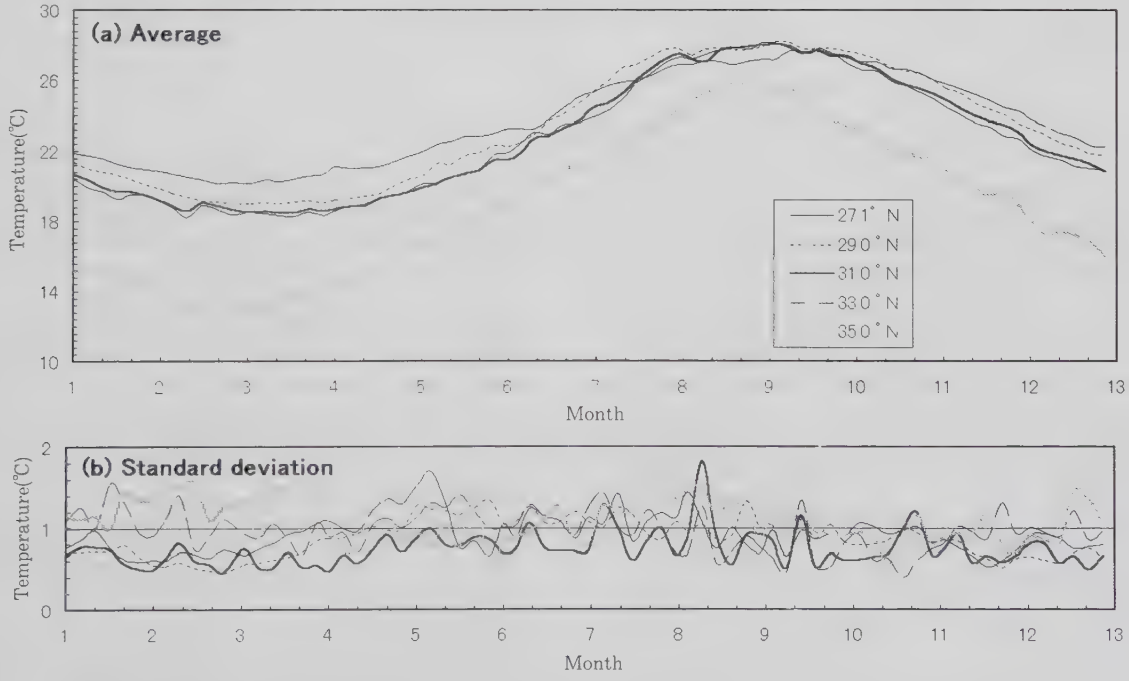


Fig. 5. Seasonal cycle of the SST observed by the Ogasawara-maru at several latitudes. (a) Average obtained from 14 years data. (b) Standard deviation.

Table 1. Trend of sea surface temperature obtained from the anomaly smoothed by the 13 months running mean by the least square method

Latitude(°N)	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0
Increase rate(°C/year)	0.032	0.024	0.015	0.013	0.006	0.007	0.031	0.038	0.020

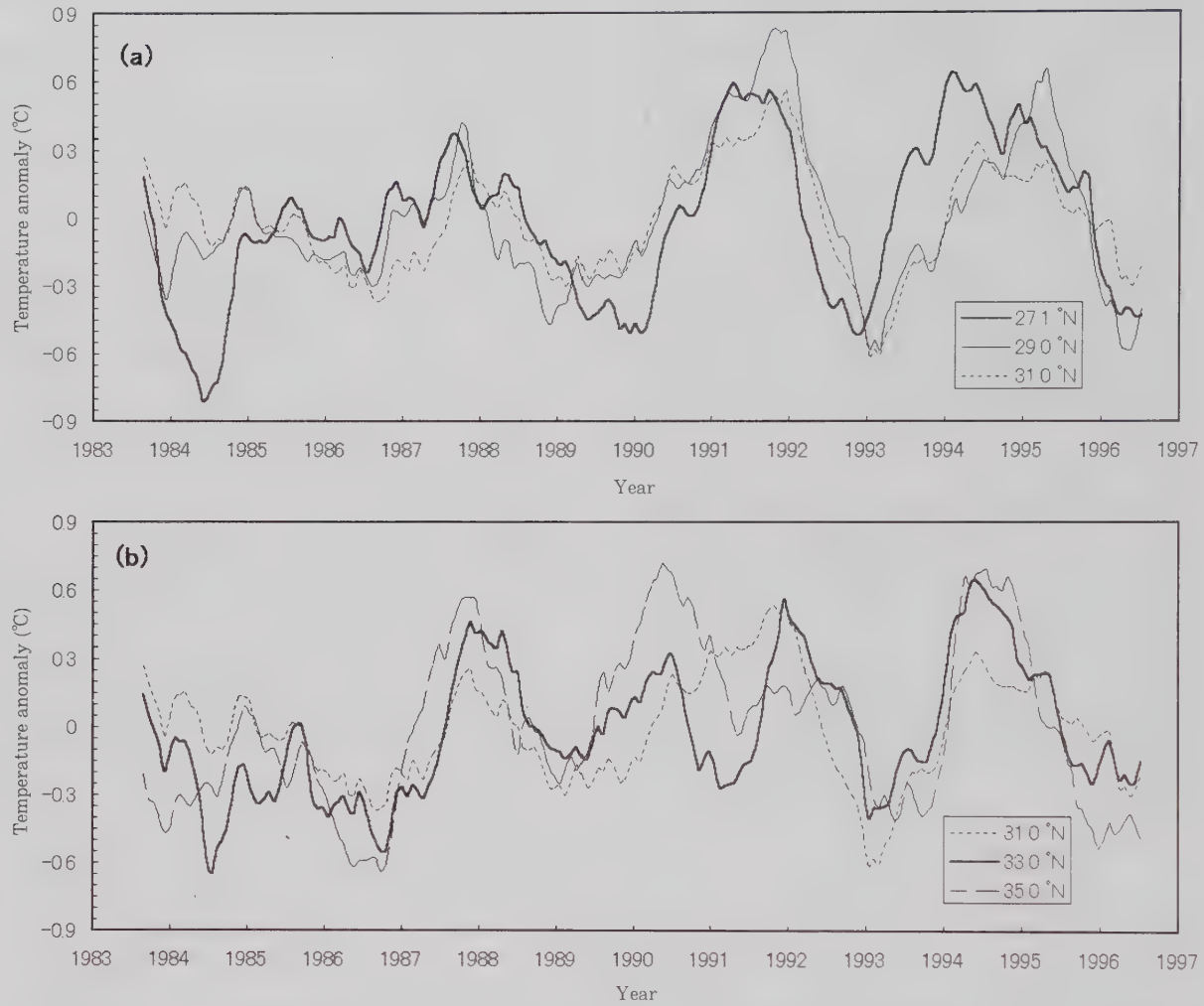


Fig. 6. Anomaly of the SST observed by the Ogasawara-maru at several latitudes which are calculated by subtracting the seasonal cycle mean from the SST. In these figures values are smoothed by the 13 months running mean. (a) Data obtained at 27.1, 29.0, and 31.0 °N. (b) Data obtained at 31.0, 33.0, and 35.0°N.

低下することである。この海域では1984年にその南側と北側の海域で見られた強い温度低下がないが，1993年には非常に強い温度低下が見られる。そのため，長期的な上昇傾向が見えない。そこで，水温変動の南北分布をより明瞭にするため，Fig. 7に縦軸を緯度として偏差変動の等値線を描いてみた。33°N以北では年ごとの変動の振幅が南側よりも大きいことが分かる。図には，13ヵ月の移動平均を施した黒潮流軸の航路横断緯度を重ねてプロットしたが，33°N以北の変動を見ると，黒潮南下時には負の偏差，北上時には正の偏差を呈している。偏差の変動を緯度方向に見ると全体的にほぼ同位相で変化しているが，1990年から1991年にかけては北部海域と南部海域が逆位相となっている。1990年には北部海域で正偏差，南部海域で負偏差となっているが，1991年には逆に北部海域で負偏差，南部海域で正偏差となっている。問題の中間領域（29～32°N)だが，Fig. 6でも見たように，1984年の負の偏差が南北両側に比べて小さく，特に1991年前半の正の偏差と1992年後半から1993年前半にかけての負の偏差が非常に大きいのが目立つ。エルニーニョとの関連だが，期間中のエルニーニョの発現年は1987年と1992年で赤道東部太平洋の海面水温偏差は大きい正偏差を示しており

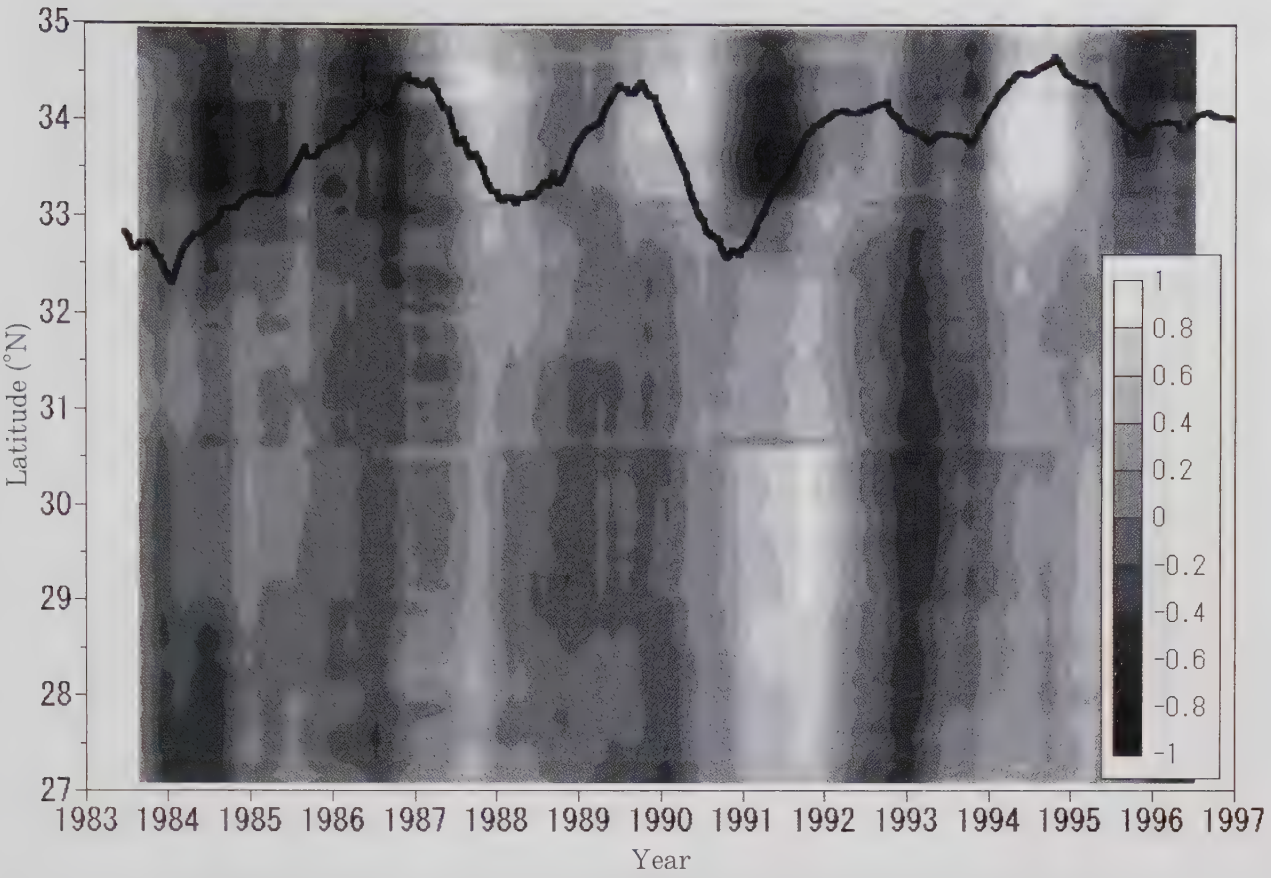


Fig. 7. Contour of the anomaly of the SST (℃) observed by the Ogasawara-maru with the curve which denotes the latitude of the Kuroshio current axis crossing the section line. All values are smoothed by the 13 months running mean.

(Trenberth, 1996), 中間領域の負偏差はエルニーニョ発現年の翌年（1988年と1993年）に現れているが，このデータだけでは関連性についてはっきりしたことは言えない。

年々変動の南北位相差

ここでは，変動の周期特性をより明瞭にするため，航走水温時系列をフーリエ変換（FFT）し，各々の振幅と周期を有するモードの重ね合わせで表現することで，変動の南北位相差を抽出する。Fig. 8には，自己パワースペクトル（モードごとの自己相関強度），27.1°Nの水温に対するコヒーレンシー（モードごとの相互相関係数），27.1°Nの水温に対する位相スペクトル（モードごとの位相差）を緯度ごとに示す。なお，ここでの計算に用いたデータは欠測値をカルマンフィルタで補間した5日ごとのデータである。

まず，自己スペクトルを見ると（Fig. 8(a)），1年周期のパワーが卓越しており，その強度は高緯度から低緯度に行くに従い減少しており，Fig. 5の季節変動を反映した分布になっている。そして，1.2〜1.6年の周期成分でパワーは極小となっており，それより長周期成分のパワーはほぼ一定である。また，1.4年よりも長周期成分のパワーを比較すると，34°Nが最も大きく，次いで27.1°Nと35°Nの成分，前項で着目した中間領域（28°N，30°N，32°N）のパワーが最も小さい。

次に，コヒーレンシーを見る（Fig. 8(b)）。1年周期の相関がほぼ1であるのは，季節変動を反映しているからである。なお，1.2年の周期で1を少し越えたものは計算時の桁落ちの影響による。全体的に，比較の対象である27.1°Nに近いほど相関が強くなっているのは当然の結果として，32°N以南と34°N以北では相関の周期方向の分布が大きく異なっている。特に，34°Nのコヒーレンシーが1.6年の周期に強いピークを持つのは興味深い。Fig. 9(a)はコヒーレンシーの緯度方向の分布を等値線で表した図である。2年より長い周期成分では33°Nを境にコヒーレンシーが急変しており，33°N以北の変動と27.1°Nの変動はほとんど相関がないことが分かる。また，1.6〜2年の周期帯に分布している第2の極大値を緯度方向に見ると，極大値が出現する周期が南に行くほど長くなっているのが特徴的である。この第2の極大値は30°N以南ではもはや明瞭でなく，コヒーレンシーは周期に依存しない。ではこれら同一周

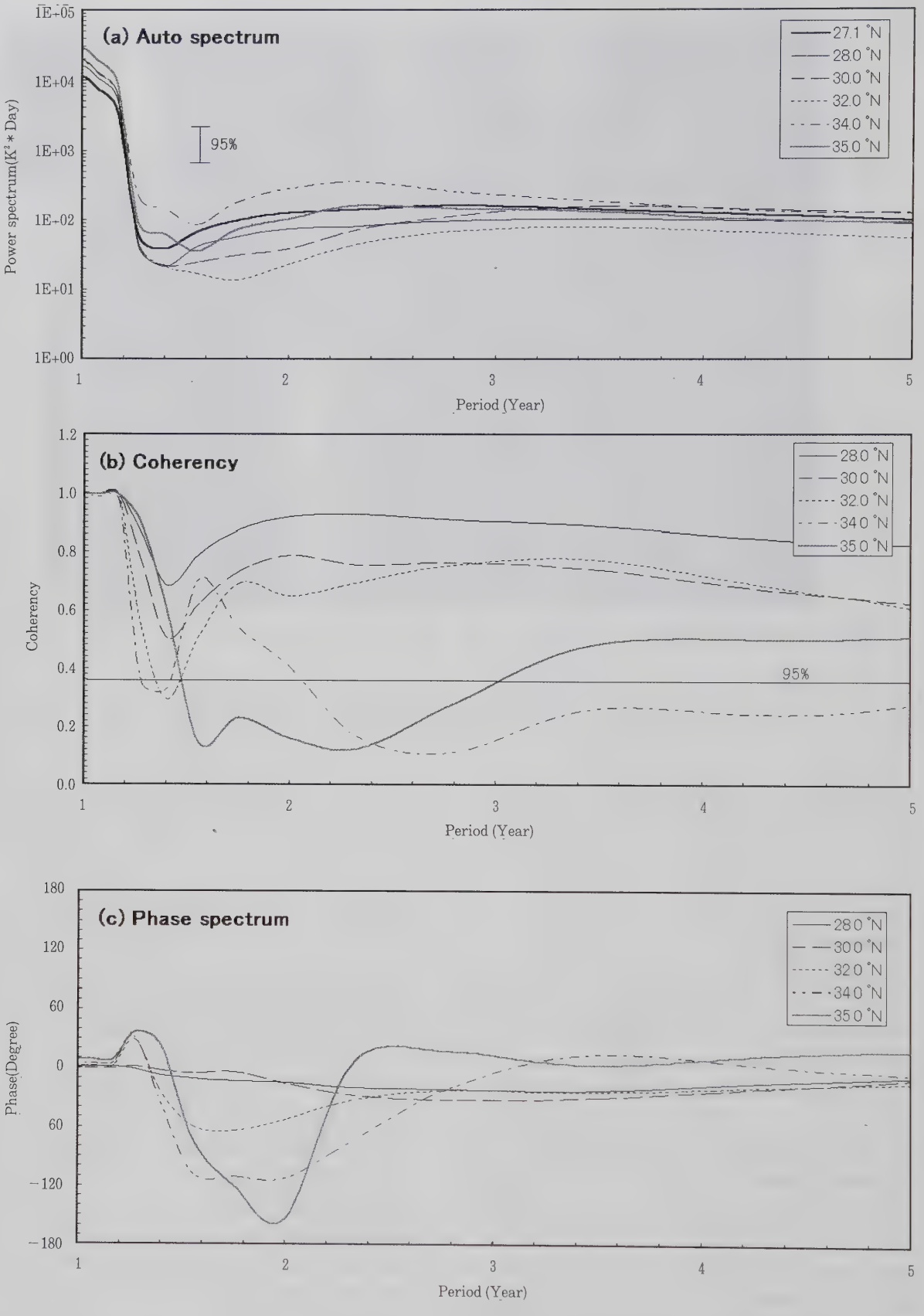


Fig. 8. (a) Auto power spectra of the SST observed by the Ogasawara-maru at several latitudes. (b) Coherency of the SST obtained at 28, 30, 32, 34, 35 °N versus the SST at 27.1 °N. (c) Same as in (b) but for phase spectra, where positive values denote advanced phase versus 27.1 °N.

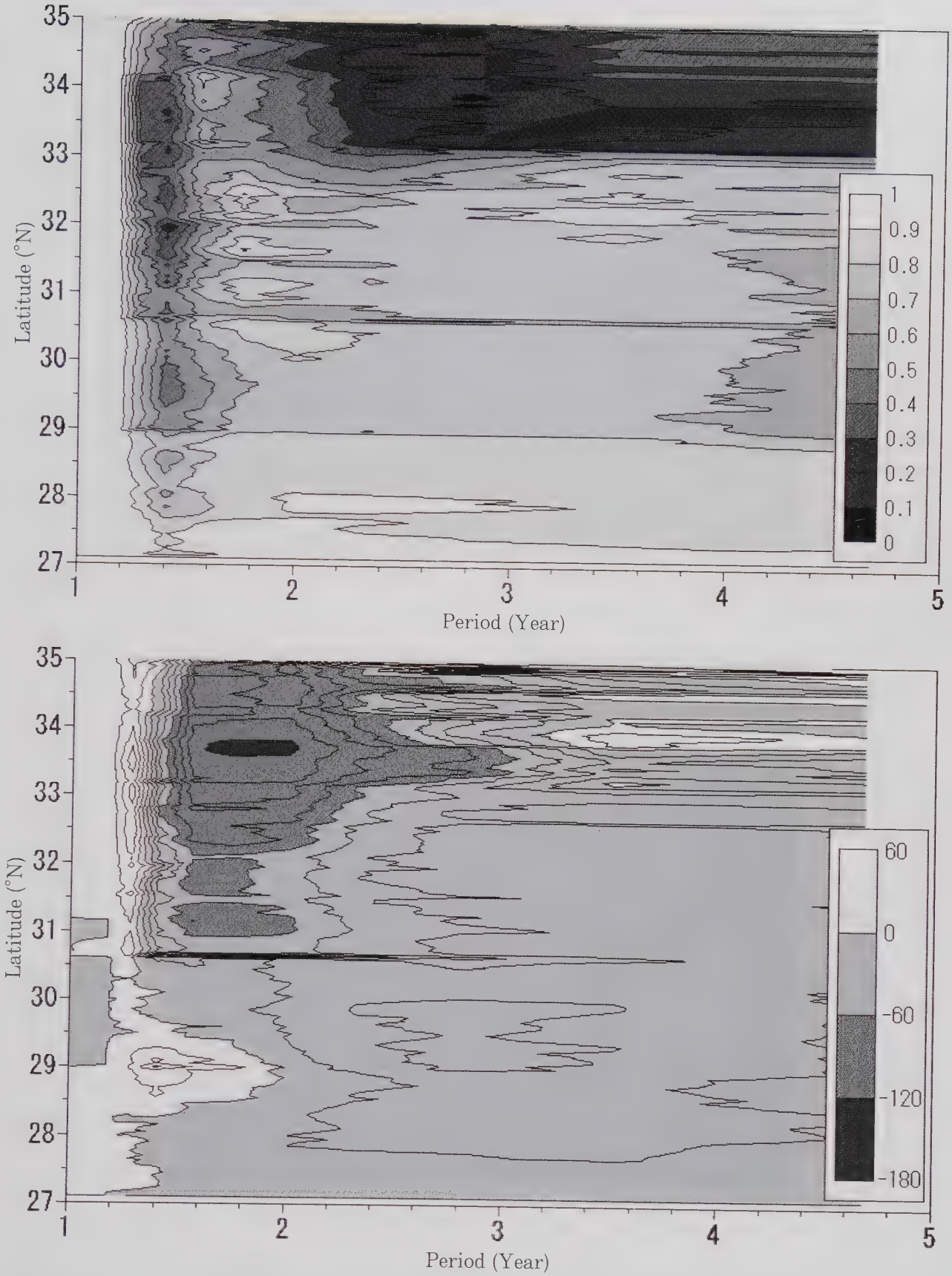


Fig. 9. (a) Contour of the coherency of the SST on the section line versus the SST at 27.1 °N, where values are logarithmic and the contour interval is 0.1. (b) Same as in (a) but for the phase spectra. The contour interval is 15 degree and positive values denote advanced phase versus 27.1°N.

期のモード間で緯度方向の位相差はどの程度あるのだろうか。

Fig. 8(c)は，27.1°Nの水温に対する位相スペクトルである。各周期モードについて正の値は27.1°Nより位相が進んでいることを示し，負の値は位相が遅れていることを示す。28°N，30°Nはどの周期成分も27.1°Nとほとんど位相差がない。一方，32°N以北の水温は周期1.2年付近の成分で40°ほど位相が進んでおり，長周期側の1.6年周期の成分では逆に32°Nで60°，34°Nで120°ほど位相が遅れている。35°Nに至っては2年周期の成分で150°位相が遅れているが，Fig. 8(b)のコヒーレンシーを見たら分かるように，この周期帯では相関がほとんどない。Fig. 9(b)の分布図を見ると，33.7°N，1.6～2年の周期帯で位相の遅れが極大になっている。この領域は相関も高いので，有意な位相のずれであると判断できる。しかも，南側の29°N付近の同じ周波数帯では逆に位相が進んでおり，情報の伝播の経路を考える上で興味深い結果である。一方，1.2年の周期帯に見られる位相が進んでいるモードについては，相関が小さいため情報の伝播特性を議論できない。さらに短周期成分に着目すると，29～31°Nのいわゆる中間領域で1年周期のモードの位相が10°ほど進んでいる。この場合10°の位相差は10日ほど位相が早いことを意味する。

考　　察

以上の解析結果から，伊豆小笠原海嶺域の表面水温は，概して，34.5°N以北の沿岸域（Ⅰ），33～34.5°Nの黒潮横断域（Ⅱ），28.5～33°Nの中間域（Ⅲ），27～28.5°Nの南方海域（Ⅳ），の4つの海域で異なる変動特性を持つことが分かった。水温のトレンドは，海域ⅠとⅢでは0.01℃/year前後で長期的変動傾向は明瞭でないが，海域ⅡとⅣでは0.03℃/year程度の上昇傾向が見られる（Table 1)。この上昇傾向は明瞭であり，全球的に上昇傾向にあるのは前述の通り事実であるが，長期トレンドを見るには期間が短いのでその解釈には注意を要する。例えば，Sturges *et al.*（1998）は，北太平洋並びに北大西洋中央部には潮位並びに水温躍層深度の10年規模の大規模な変動が存在すること，そしてこの変動は風強制力による低周波Rossby波によって説明できることを報告しており，この10年規模の変動を拾っている可能性もあるからである。前節冒頭で年周期変動の振幅が年ごとに変動していることを指摘した（Fig. 2(a)）が，これに関連して，各年の冬季から夏季への

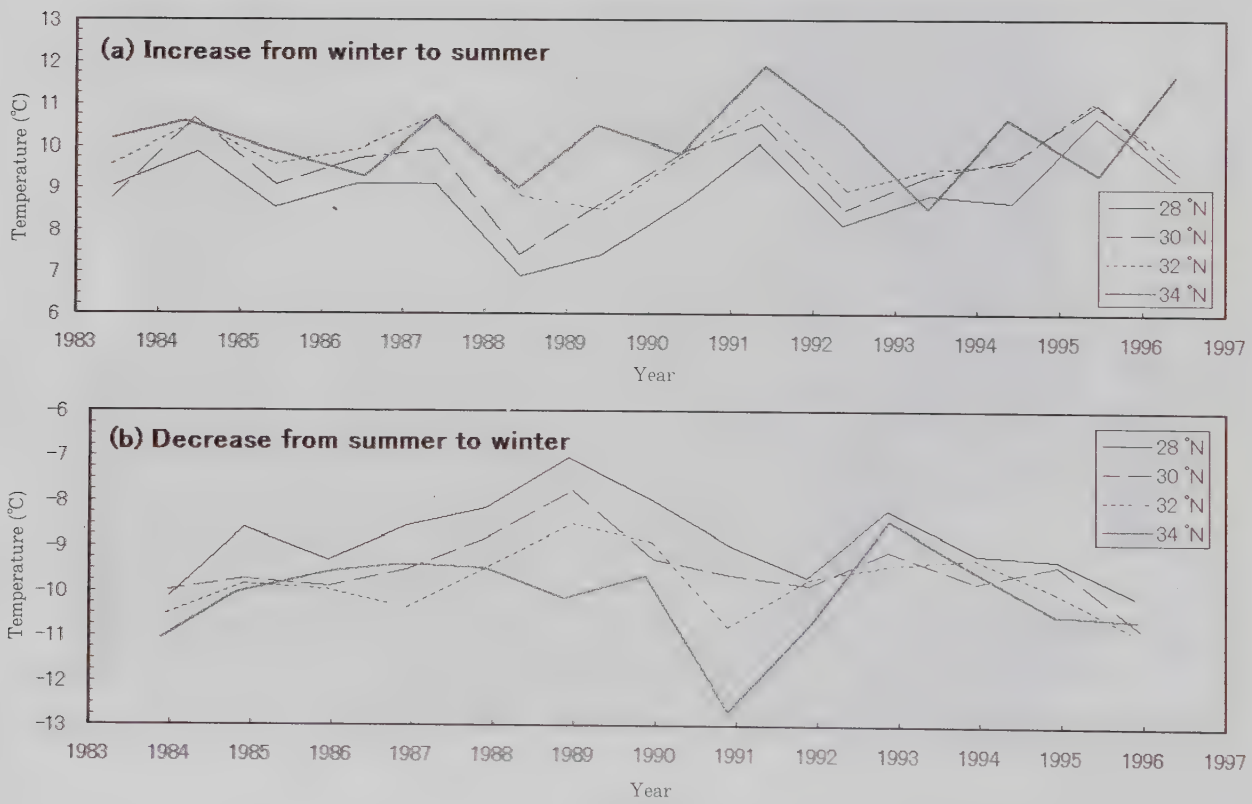


Fig.10. Interannual variation of the amplitude of seasonal cycle of sea surface temperature. Values are obtained by calculating the difference between the maximum and the minimum temperature smoothed by the 1 month running mean in each year. (a) Increase of temperature from winter to summer. (b) Decrease of temperature from summer to winter.

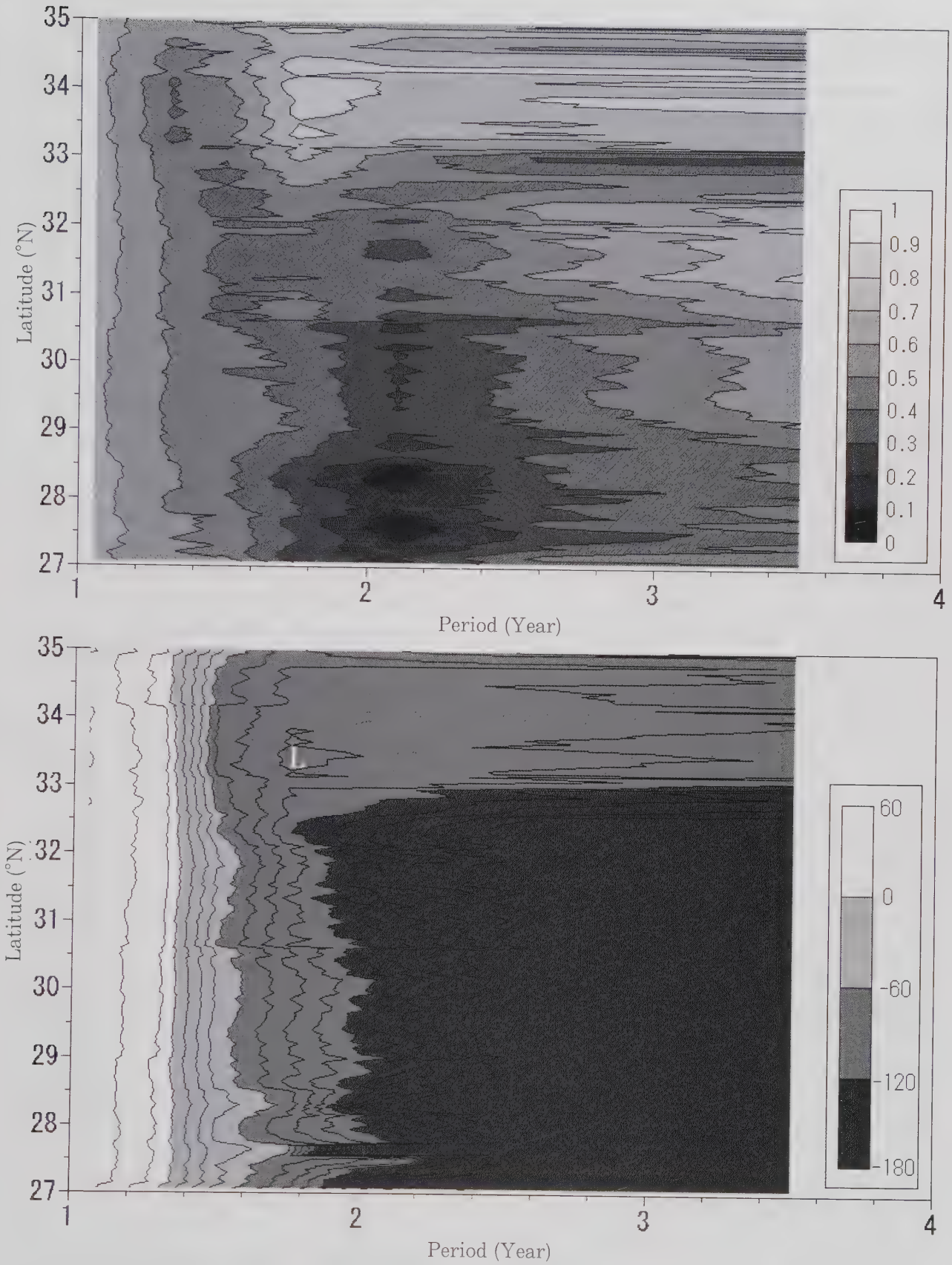


Fig. 11. (a) Contour of the coherency of the SST on the section line versus the latitude of the Kuroshio axis crossing the line, where values are logarithmic and the contour interval is 0.1. (b) Same as in (a) but for the phase spectra. The contour interval is 15 degree and positive values denote advanced phase relative to the variation of the Kuroshio axis. The mark "L" denotes the local minimum region.

水温上昇（Fig. 10(a)）と夏季から冬季への水温下降（Fig. 10(b)）をプロットしてみると，変動の振幅は1988～1989年を最小（谷）とし，1984年と1995年を最大（峰）として10年規模で変動しているように見える。この傾向は，黒潮の影響を直接受けない南部海域で顕著である。

次に，海域Ⅳの南端27.1°Nの水温に対するコヒーレンシーを見たとき，1年周期の成分を除くと，1.6～2年周期のモードが卓越しており，強度は北へ行くほど小さくなっている（Fig. 9(a)）。この強度分布は単純に27.1°Nからの距離の長短で解釈できるように見えるが，位相スペクトルの分布を見ると話はそう単純ではなく，対応する周期帯で27.1°Nに対して位相の遅れが最も大きいのは領域Iではなく Ⅱであり，そしてⅢの南端28.5～29.5°Nでは位相は逆に進んでいる（Fig. 9(b)）。また，2年以上の長周期成分を見ると33°Nを境に北側ではコヒーレンシーが急減しているのも特徴的である。

海域をこれら4つの領域に分ける最も大きな因子は黒潮であり，黒潮流軸が航路を横切る緯度の変動と水温変動のコヒーレンシーを計算すると（Fig. 11(a)），33.5～34.5°Nの緯度帯，つまり領域Ⅱで2年周期の成分のコヒーレンシーが最大となっていて，その北側の領域Ⅰと南側の領域Ⅲ，Ⅳでは相関が小さくなっている。29°N以南に至っては相関がほとんどない。位相スペクトルを見ると（Fig. 11(b)），2年周期の成分は，コヒーレンシーが最大の領域Ⅱにおいて位相が黒潮より90°，つまり半年ほど遅れている。実際，Fig. 7の水温偏差分布と黒潮流軸との関係を注意深く見ると，約2年周期の黒潮変動に対して，流軸の北偏時（流軸曲線の峰の部分）から半年ほど遅れて水温の極大が現れ，流軸の南偏時（谷の部分）から半年ほど遅れて水温の極小が現れている。位相スペクトルを見ると，南側の領域ⅢとⅣでは黒潮からの位相の遅れがより大きくなっているが，黒潮とのコヒーレンシーが極めて小さいので，前節で指摘した1991年に北部海域と南部海域の位相が逆になっている原因を黒潮の流軸変動だけで説明することはできない。この現象解明にはエルニーニョとの関連も含めて，大気からの運動量，熱，淡水流束の変動とこれに対する海洋の応答をより広い領域で解析する必要がある。例えば，淡水流束の変動に伴う順圧流の変動により黒潮のような西岸境界流の離岸緯度が1°南にずれる可能性も指摘されており（Huang and Schmitt, 1993），海盆規模の現象の解析が急がれる。

また，黒潮以南の海域ⅢとⅣでトレンドが異なる点については，本稿で使用したデータの前半部分を解析した瀬川，友定（1983）や瀬川（1989）の以下のような結果との関連もうかがえる。それは，表面水温の南北勾配について，南側より北側が高い時を正，低い時を負とした場合に，黒潮流軸の北側と南側，そして30～29°N以南の3つの領域で，負，正，負の分布を示すという結果であるが，南北勾配が正の分布を示す領域はここでの海域Ⅲに対応しており，東方から本州南方へ向かって伝播してくる中規模渦との関連も予想され，衛星海面高度等を利用した解析でその一因が解明されることが期待される。なお，これに関連した解析は別論文で報告する予定である。

結　　語

東京，父島間の定期船おがわさわら丸で14年間にわたって観測した伊豆小笠原海嶺域の表面水温を解析して以下の結果を得た。

（1）伊豆小笠原海嶺域の表面水温は，34.5°N以北の沿岸域（Ⅰ），33～34.5°Nの黒潮横断域（Ⅱ），28.5～33°Nの中間域（Ⅲ），27～28.5°Nの南方海域（Ⅳ），の4つの海域で異なる変動特性を持つ。

（2）水温のトレンドは，海域ⅠとⅢでは0.01℃/year程度で長期的変動傾向は明瞭でないが，海域ⅡとⅣでは0.03℃/year程度の上昇傾向が見られる。

（3）変動を1年より長い周期のモードに分解すると，1.6年～2年周期のモードが卓越しており，海域Ⅳの南端27.1°Nの水温を基準にすると，コヒーレンシーは北へ行くほど小さくなるが，位相について見ると，位相の遅れが最も大きいのは領域Iではなく Ⅱであり，そしてⅢの南端28.5～29.5°Nでは位相は逆に進んでいる。

（4）黒潮流軸変動との相関を調べると，2年周期のモードが卓越しており，海域ⅠとⅡはコヒーレンシーが高く，水温変動は黒潮流軸変動より半年ほど位相が遅れている。一方，海域ⅢとⅣの水温変動と黒潮流軸との相関は小さい。

以上の結果から，伊豆小笠原諸島域の水産資源の長期変動を考えるとき，この海域の水温変動特性は上記の4つの領域で異なることを考慮に入れる必要があり，しかも，黒潮流軸変動との相関が強い33～34.5°Nでは，2年周期の変動が顕著であるが，この変動は黒潮流軸変動から半年ほど位相が遅れることも考慮に入れる必要があることを指摘しておきたい。

謝　　辞

本論文で使用した水温データは遠洋水産研究所の瀬川恭平博士が中心となって計測，整理されたものである。おがさわら丸を運航している小笠原海運株式会社には，水温計測に伴うエンジン冷却水使用のため機関

室の一部を快く提供していただき，観測に多大なるご協力をいただいた。東京都水産試験場，同大島分場，同八丈島分場，並びに小笠原水産センターには，計測，管理している定地水温データを八丈島分場の江川紳一郎氏を通じで提供していただいた。以上の関係者の皆様に心より感謝申し上げます。また，解析に使用した黒潮流路は海上保安庁海洋情報部（旧水路部）発行の「海洋速報（1983～1997年）」を参照して算出した。

なお，本研究は，旧科学技術庁の研究プロジェクト「黒潮の開発利用調査研究」並びに中央水産研究所変動機構研究室の一般研究「日本周辺海域における水温等の長期変動特性の把握」の中で実施された研究の一部である。

文　献

Ebuchi N. and Hanawa K., 2000: Mesoscale eddies observed by TOLEX-ADCP and TOPEX/POSEIDON altimeter in the Kuroshio recirculation region south of Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 43-57.

Hansen J. and Lebedeff S., 1988: Global surface air temperature: update through 1987. *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 323-326.

Huang R. X. and Schmitt R. W., 1993: The Goldsbrough-Stommel circulation of the world oceans. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 1277-1284.

海上保安庁海洋情報部, 1983-1997: 海洋速報海流図.

小松幸生，友定　彰，川崎　清, 2002: 伊豆小笠原海嶺域における定期船航走水温の時空間変動特性 II. 年内変動. 水研センター研報，**5**, 39-59.

瀬川恭平, 友定　彰, 1983: 定期船による東京～父島間の表面水温観測. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **6**, 318-322.

瀬川恭平, 1989: 伊豆・小笠原海嶺域における表面水温変動の研究 －黒潮フロントの変動について－. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **12**, 406-410.

Sinclair M., Tremblay M. J., and Bernal P., 1985: El Niño events and variability in a Pacific Mackerel (Scomber japonicus) survival index: support for Hjort's second hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**, 602-608.

Sturges W., Hong B. G., and Clarke A. J., 1998: Decadal wind forcing of the North Atlantic subtropical gyre. *J. Phys. Oceanogr.*, **28**, 659-668.

友定　彰，玉木信子, 1989:「すとれちあ丸」航走水温からの黒潮流路の推算. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **12**, 395－405.

Trenberth K. E., 1996: El Niño-Southern Oscillation, in "Climate Change: Developing Southern Hemisphere Perspectives" (ed. by Giambelluca T. W. and Henderson-Sellers A.), John Wiley & Sons, New York, pp.145-173.

Wallace J. M. and Hobbs P. V., 1977: Atmospheric Science: An Introductory Survey, Academic Press, San Diego, 464pp.

水研センター研報，第5号，38－54，平成14年
Bull. Fish. Res. Agen. No. 5, 38-54, 2002

伊豆小笠原海嶺域における定期船航走水温の時空間変動特性 Ⅱ．年内変動

小松幸生*，友定　彰*，川崎　清*

Spatio-temporal variation of sea surface temperature observed by ferry-boat in Izu-Ogasawara ridge Ⅱ. Variation shorter than one year

Kosei KOMATSU*, Akira TOMOSADA*, and Kiyoshi KAWASAKI*

Abstract Meridional structure of sea surface temperature (SST) in the Izu-Ogasawara ridge was analyzed focused on temporal variation with time scale shorter than one year. The SST data were obtained continuously from 1983 to 1997 by the ferryboat Ogasawara-maru, which made round trips across the Kuroshio between Tokyo (35.6°N) and Chichijima (27.0°N) south of Japan. From the time-latitude map of SST with 5day×0.05° mesh, it was found out that the variation of SST deviated from seasonal cycle had modes with similar period as that of the Kuroshio axis. In addition, the SST variation in the southern region from 31°N had advanced phase compared with that in the Kuroshio region which was synchronized by the variation of the Kuroshio. This meridional time- lag could be attributed to some temporal deviation in effect of mesoscale eddies on the SST in the target area by time-latitude analysis of satellite altimetry data, which showed a possibility to forecast the position of the Kuroshio axis of two years later with some accuracy.

Key words: sea surface temperature, ferryboat, Kuroshio, meso-scale eddy, Izu-Ogasawara ridge

黒潮を南北に横断する定期船で連続的に計測した表面水温時系列から，黒潮変動の前兆となる信号をとらえることはできないだろうか。

黒潮が直進と蛇行を非周期的に繰り返すことはよく知られている。蛇行時にはしばしば冷水塊が形成され，沿岸に向けて暖水が波及する（例えば，増沢，1965）。また，房総半島沖の離岸状況によっては親潮系の冷水が相模湾まで貫入してくることもある（Senjyu *et al.*, 1998）。伊豆諸島を中心とする海域はイワシ，アジ，サバ類をはじめとする重要浮魚類の生息域となっており，黒潮流路がこれらの漁場形成や産卵場形成に与える影響は甚大である（黒田，1983）。例えば，マサバは黒潮流路に応じて伊豆諸島域の特定の海域で産卵するが，その産卵場は数日の内に移動する（友定，玉木，1989）。したがって，黒潮予測は漁海況予報の要となっているが，数値モデルによる予測は黒潮の持つ流体力学的不安定性ゆえ非常に困難である。今のところ，不断の監視（モニタリング）で得られる有意な信号から経験的事実と力学的機構に基づいて自己回帰的に推定するのが現実的である（例えば，沿岸潮位データを用いたものとしてKawabe（1985）がある）。それゆえ，黒潮域では水産研究所をはじめ，各都県の水産試験場，気象庁，海上保安庁，大学等の諸機関が定期的に定線観測を行い，黒潮の変動機構の把握や流路の予測に役立てている。

中央水産研究所では，黒潮モニタリングの一環とし

2002年7月18日受理（Accepted on July 18, 2002）
水産総合研究センター業績 A 第24号（Contribution No. A 24 from the Fisheries Research Agency）
* 中央水産研究所，〒236-8648　神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4 (National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura 2-12-4, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

て，東京と小笠原父島を結ぶ定期船「おがさわら丸（旧船，小笠原海運(株)）」に航走水温計を設置し，1983年2月から1997年2月までの14年間にわたり表面水温の連続観測を行ってきた。この観測の特徴は，観測密度の高さと期間の長さもさることながら，観測範囲が黒潮のはるか南方27°Nまで及んでいることである（Fig. 1）。特に最近の衛星海面高度データの解析では，東方から本州南方へ向かって伝播してくる中規模渦が黒潮と相互作用してその流路変動に影響していることが示唆されている（e.g., Ebuchi and Hanawa, 2000）。また，おがさわら丸が航行する伊豆・小笠原諸島の東側の海域は，海嶺の存在もあって黒潮の変動が特に激しく黒潮予測の特に困難な海域でもある。以上の点で，おがさわら丸の表面水温データは貴重であり，前報（小松ら，2002）ではこの海域の経年変動特性について述べた。

本稿では水温変動の南北分布特性をもとにした将来的な黒潮予測の可能性を視野に入れ，1年以内の周期の変動，特に数ヵ月程度の変動に着目し，変動の南北分布特性を調べることを目的とする。まず，水温データから中規模スケールの水温の南北不連続（水温フロント）を抽出し，続いて水温変動の周期特性と南北分布を調べ，黒潮流軸変動との相関関係を議論する。そして最後に，水温変動の南北差に対して東方から西向きに伝播してくる中規模渦が与える影響について考察する。

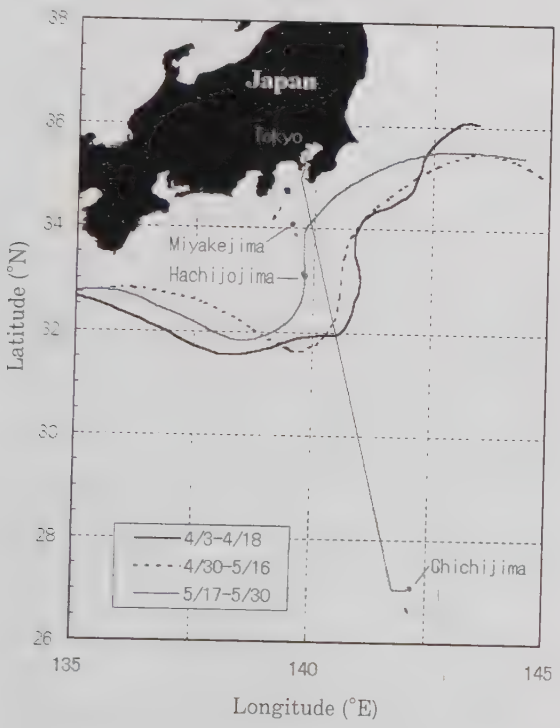


Fig. 1. Map of the regular line of the ferryboat Ogasawara-maru around Izu-Ogasawara islands south of Japan and the Kuroshio axes in spring of 1984, which are drawn referred from Quick Bulletin of Oceanic Conditions (Japan Coast Guard, 1984). The topography of this region is shown in Fig. 1 of the previous report by Komatsu et al. (2002).

表面水温データの処理

本論文で使用する表面水温データは，東京と父島間を5～6日毎に往復していた旧船「おがさわら丸（小笠原海運(株)）」に設置した航走水温計で計測した海面下4mの水温値である。データセットの期間は1983年2月10日～1997年2月12日，範囲は航路に沿って南北に27.10～35.00°Nであり，解像度は5日×0.05°である。なお，データの取得と格子化処理の詳細は前報（小松ら，2002）に譲る。以下では，データの時間方向について季節変動成分と短周期変動成分に分離する方法と，緯度方向についてトレンド成分と短波長成分に分離する方法について述べる。

時間方向の処理

対象とする海域は1年周期の季節変動が卓越する。一例としてFig. 2に航路27.1°Nと34.0°Nにおける1989年から1990年にかけての航走水温時系列を示す。生の時系列を見ると1年周期の季節変動の上に1ヵ月よりも短い変動が乗っていることが分かる。そして，同じ季節でも1989年と1990年とでは水温が2～3℃近く異なる時期もあり，例えば，34.0°Nの1989年の2月は1990年同月よりも2℃ほど低いし，27.1°Nの1990年10月は前年同月よりも3℃ほど高く，11月と12月は前年同月よりも平均して1℃ほど高かったことが分かる。一方，34.0°Nの11月と12月については1989年と1990年との間に顕著な差は見られない。このように年によって水温の変動は異なり，しかも，その変動の仕方は緯度によって違うことがわずか2年間の時系列を見ただけでも分かる。本稿では1年以内の時間規模の水温変動に着目し，黒潮変動との関連で解析する。そこで，卓越する季節変動成分を下記の回帰モデルを用いて除去する。

まず，生データy_nを三角関数の多項式で表現する：

$$y_n = a + \sum_{j=1}^{m} b_j \sin j\omega_n + \sum_{j=1}^{l} c_j \cos j\omega_n + \varepsilon_n. \qquad (1)$$

ここで，nは水温時系列の番号で，ωは年周期で$2\pi/73$（5日間隔のデータなので1年間のデータ数は73個である），ε_nは季節変動成分を除いた残差成分である。多項式の次数をm, lとし，説明変数を$\{1, \sin\omega_n, \cos\omega_n, \cdots, \sin k\omega_n, \cos k\omega_n\}$の順に採用して赤池情報量基準（AIC）が最小になるように次数m, lを決める。なお，ここでは最高次数をそれぞれ10に制限する。このモデ

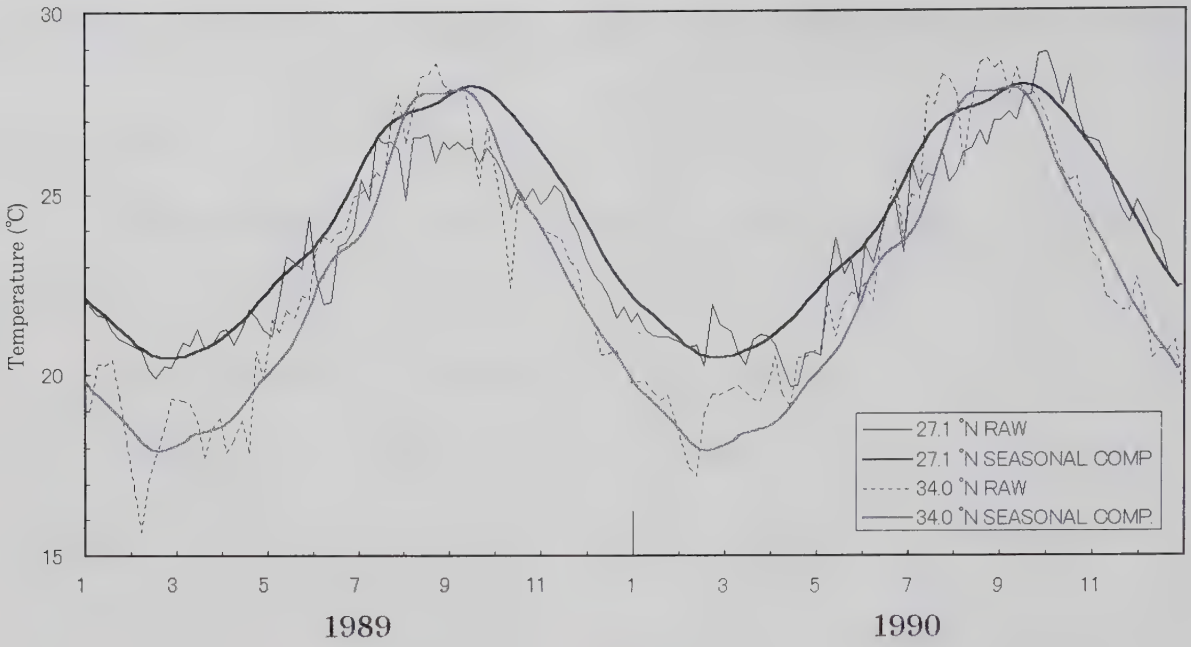


Fig. 2. An example of time series of raw sea surface temperature (℃) from 1989 through 1990 observed by Ogasawara-maru at 27.1°N (solid line) and 34.0°N (dashed line). The smoothed curves show the seasonal components obtained by a regression model.

ルを緯度ごとの時系列に当てはめて，データを季節変動成分と残差成分（短周期成分）とに分離する。ここでは，緯度ごとの次数とAICの値を列挙しないが，平均するとm=6，l=6でAIC=2700～2800である。Fig. 2に27.1°Nと34.0°Nの季節変動成分を示す。27.1°Nにおける1990年の冬季は例年並であり，むしろ1989年が冷たかったことが分かる。以下では生データからこの季節変動成分を除去した残差ε_nを平年値からの偏差と見なして使用する。

緯度方向の処理

おがさわら丸の航行海域は北から沿岸域，黒潮域，亜熱帯域に大別される。また，黒潮以南の亜熱帯域は瀬川（1989）や前報（小松ら，2002）で指摘されているように，比較的変動が小さい29°N以北と変動の激しい29°N以南とに二分されるようである。黒潮フロントの変動や擾乱の伝播に着目するとき，水温の南北勾配の時空間変動を解析するのが一般的だが，生データから緯度方向に隣り合う水温値の差をとることにより直接南北勾配を計算すると，雑音を拾ってしまう危険性が高い。そこで，本稿では生の変動に追従し過ぎず，その一方で数十km規模の変動は的確にとらえることのできるトレンド抽出アルゴリズムとして以下の多項式トレンド成分モデルを採用して緯度方向について短波長成分を除去する。

緯度方向のデータのトレンドをt_nとし，これをk次の多項式で表現すると，一般にはこれは$k+1$階の差分方程式，

$$\Delta^{k+1} t_n = 0$$

で表現できる。ここでΔは時間差分演算子である。これをより柔軟な関数に拡張する方法として，確率差分方程式，

$$\Delta^{k+1} t_n = v_n \qquad (2)$$

を導入する（北川，1993）。ここで，v_nは平均0の正規白色雑音とする。なお，酔歩モデルはk=0の場合である。詳細は北川（1993）に譲るが，方法の概要は緯度方向のデータセットを式（2）をもとに

$$y_n = t_n + w_n \qquad (3)$$

で表現し，モデル次数をAICが最小となるように決めるものである。ここで，w_nは平均0の正規白色雑音とし，v_nとw_nの分散は最尤法により最適値を決める。このモデルを5日ごとの生時系列に当てはめて緯度方向のトレンドを抽出する。なお，多項式の次数はすべての場合について2であり，AICは200～210である。そして，水温の南北勾配はt_nを1階微分することで得ることができる。Fig. 3は1991年2月13日，6月19日，9月21日のそれぞれの生水温値とトレンドである。図には航路を横切る黒潮流軸の緯度（海上保安庁海洋情報部発行の「海流図」より参照）を示してある。図に示した期間は黒潮大蛇行期の終盤で流軸が徐々に北上している時期に対応している。6月19日のデータは他の2つと比べて小規模の南北変動が激しく，特に31.7°N付近

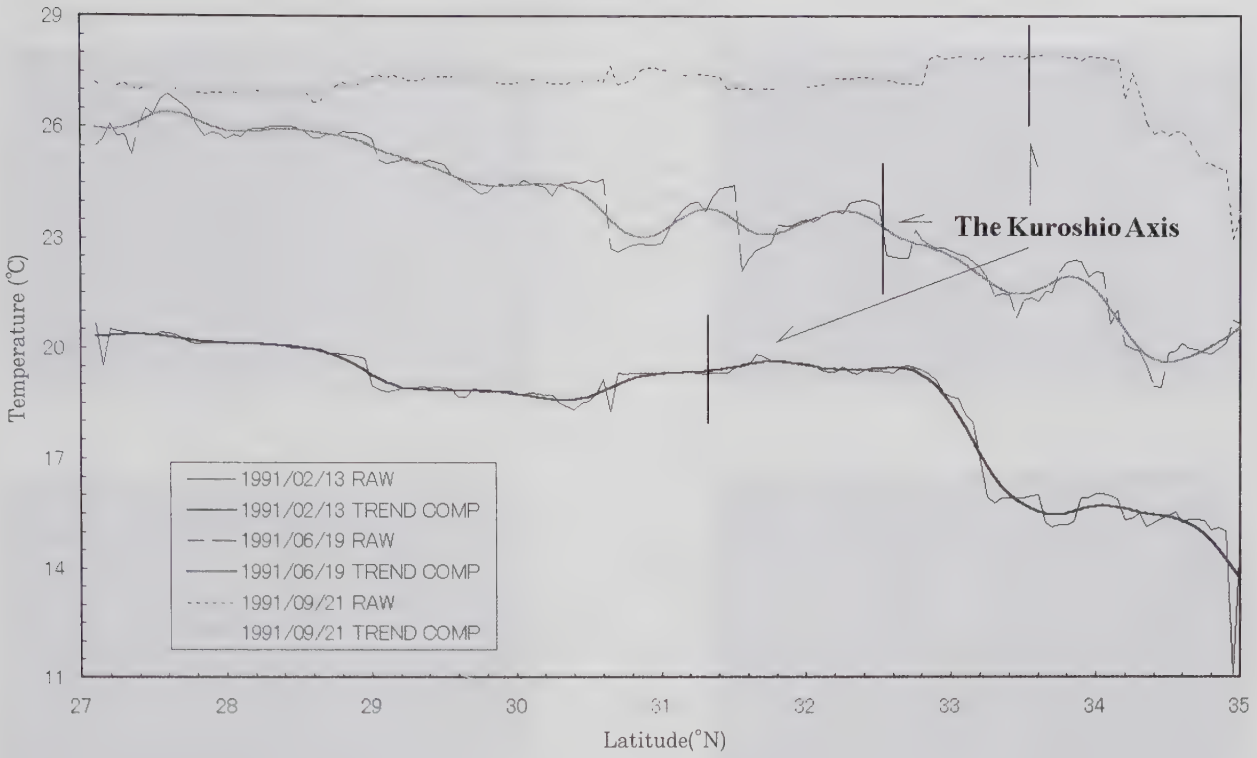


Fig. 3. An example of meridional distribution of sea surface temperature (℃) observed in 1991. Raw components are shown by thin lines, and trend components which are used to calculate meridional gradient of the SST are shown by thick lines. Three straight lines denote the position of the Kuroshio axis across the regular line of Ogasawara-maru during the observation period (Japan Coast Guard, 1991).

では緯度方向にわずか0.05°離れただけで 2℃近い南北差が見られる。また，この 6 月19日のデータは黒潮以南の亜熱帯域の大局的な南北勾配が比較的大きいのが特徴的である。トレンドは緯度について 1°程度の規模の水温変動を的確にとらえており，他の多項式モデルで見られるようなデータ区間の両端での推定精度の劣化は見られない。なお，流軸位置と南北勾配を比較したとき，必ずしも南北勾配が最大の箇所が流軸位置に対応していないのは，図の流軸位置は 2 週間分の観測データをもとに推定された黒潮流路の中心であり，厳密に言うと水温計測時点での黒潮前線（フロント）の位置とは異なるためである。

解 析 結 果

水温偏差の変動特性

Fig. 4は，前節の処理法で季節変動成分を除去し，これを緯度方向について平滑化した時間－緯度分布である。図には航路を横切る黒潮の流軸緯度を示してある。ここでは，この図をもとに，水温の年内の時空間変動特性について黒潮流軸変動との関連から論じる。なお，本稿では，流軸の変動について，流路に係わらず流軸が航路を横切る緯度値が増加するときを北上時，減少するときを南下時と呼び，緯度値の極大時を北偏時，極小時を南偏時と呼ぶ。

水温偏差は，大局的に見ると，瀬川（1991）が指摘しているように緯度方向に同位相で変動しているようである。つまり，分布図が縦縞の構造を持っている。しかし，年ごとの変動を細かく見ると，黒潮流軸を挟んで南北で逆位相となっている時期がしばしば見られる。つまり，変動をいろいろな周期を持つモードの重ね合わせで表現すると，半年から 1 年の長い周期のモードは南北ほぼ同位相で変動しているが，より短い数ヵ月程度の周期のモードは位相がずれていることを示している。特に南北の位相のずれが顕著なのは，1987年 7 月で偏差の分布が南負北正，1991年 6 ～ 7 月で南正北負，1995年 8 月で南正北負である。より短い変動を見ると他にも逆位相の分布は多く見られ，概して，流軸南偏時に南正北負，北偏時に南負北正の分布を呈するようである。このように，水温の時間変動は南北で有意な差が認められる。そこで，以下では，海域ごとに北から順に黒潮変動との関係を見ていき，最後に南北間の位相のずれについて検討する。

最初に流軸の北側，通称内側域の水温変動と流軸と

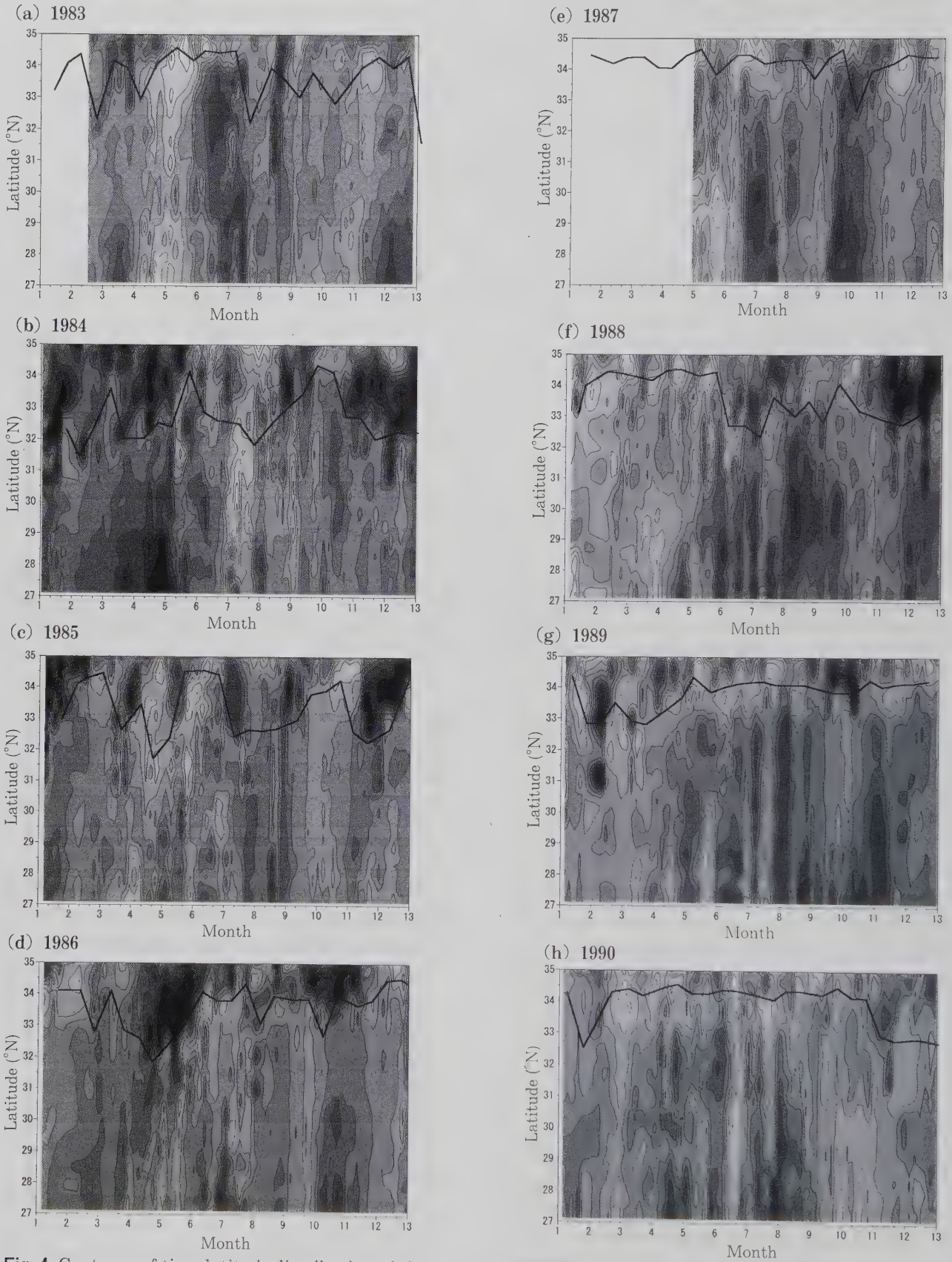


Fig. 4. Contours of time-latitude distribution of the anomaly of SST which are calculated by subtracting seasonal components from the raw data and smoothed by a polynomial trend component model. The thick black line denotes latitude of the Kuroshio axis and the contour interval is 0.5 ℃.

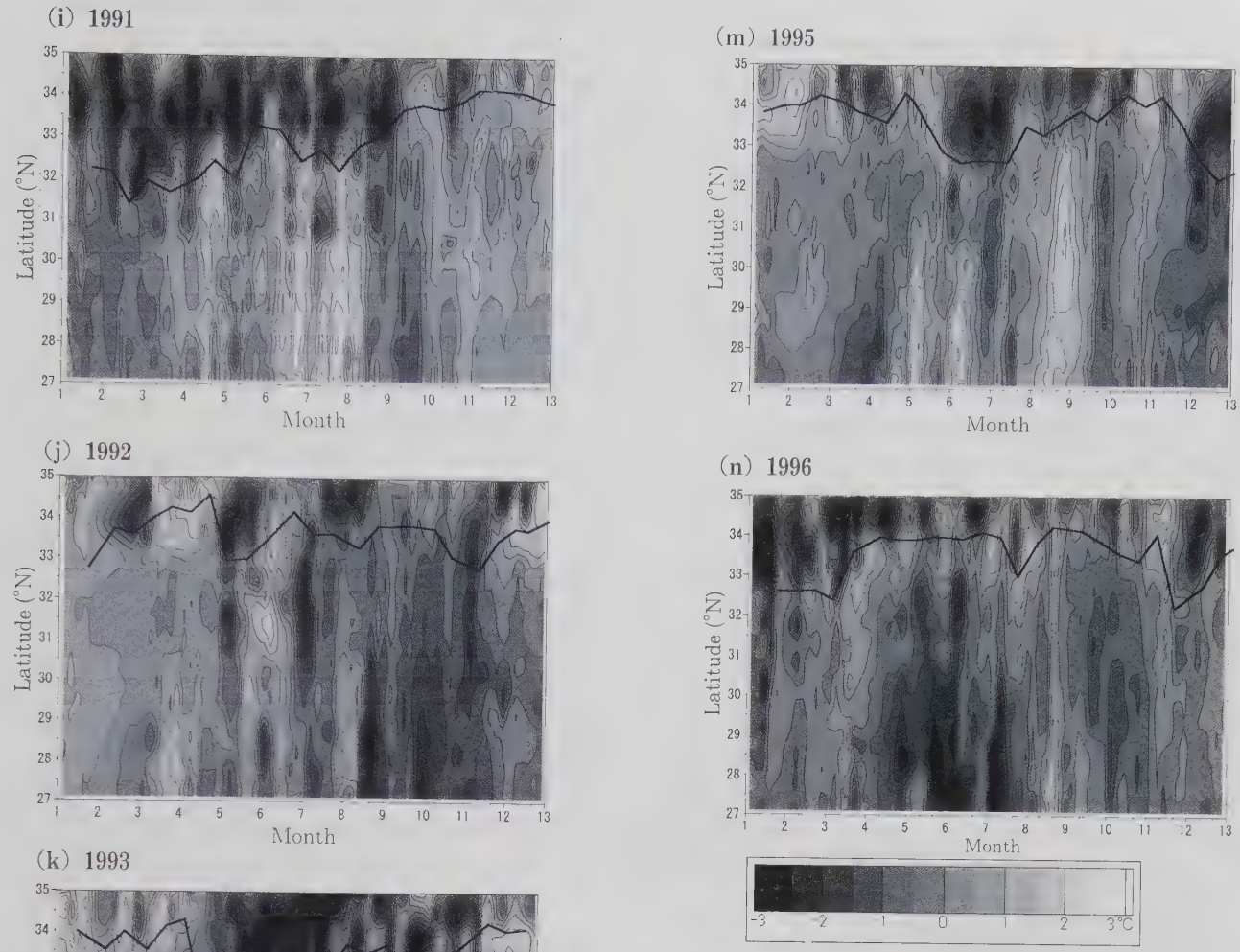


Fig. 4. (continued)

の関係を見る。大雑把な言い方をすれば，当フェリーの航路上では黒潮流軸が北よりのときは高水温，南よりのときは低水温の傾向があることが経験的に知られている。実際，Fig. 4を見るとその傾向は正しいようである。特に，南偏時の強い負偏差は，流軸緯度が32°N付近まで大きく南下している時期（例えば，1984年の3月後半から4月にかけての期間と10月後半から12月にかけての期間（Fig. 4(b)），1986年の4月と5月（Fig. 4(d)），1991年の1月後半から4月にかけての期間（Fig. 4(i)），1993年の5月から7月にかけての期間（Fig. 4(k)）に出現し，蛇行に伴う冷水塊の影響を示している。しかし，細かく見ると，南偏時でも高偏差のとき（例えば1984年7月（Fig. 4(b)）があるし，逆に北偏時でも低偏差のとき（例えば1996年5月と6月（Fig. 4(n)）がある。短期変動を見る場合，内側域の水温は流軸の位置だけでなく黒潮の流型や冷水塊の形成にも着目する必要がある。蛇行時には流路北上域で暖水波及がしばしば見られるし，直進型の流路であっても冷水塊の形

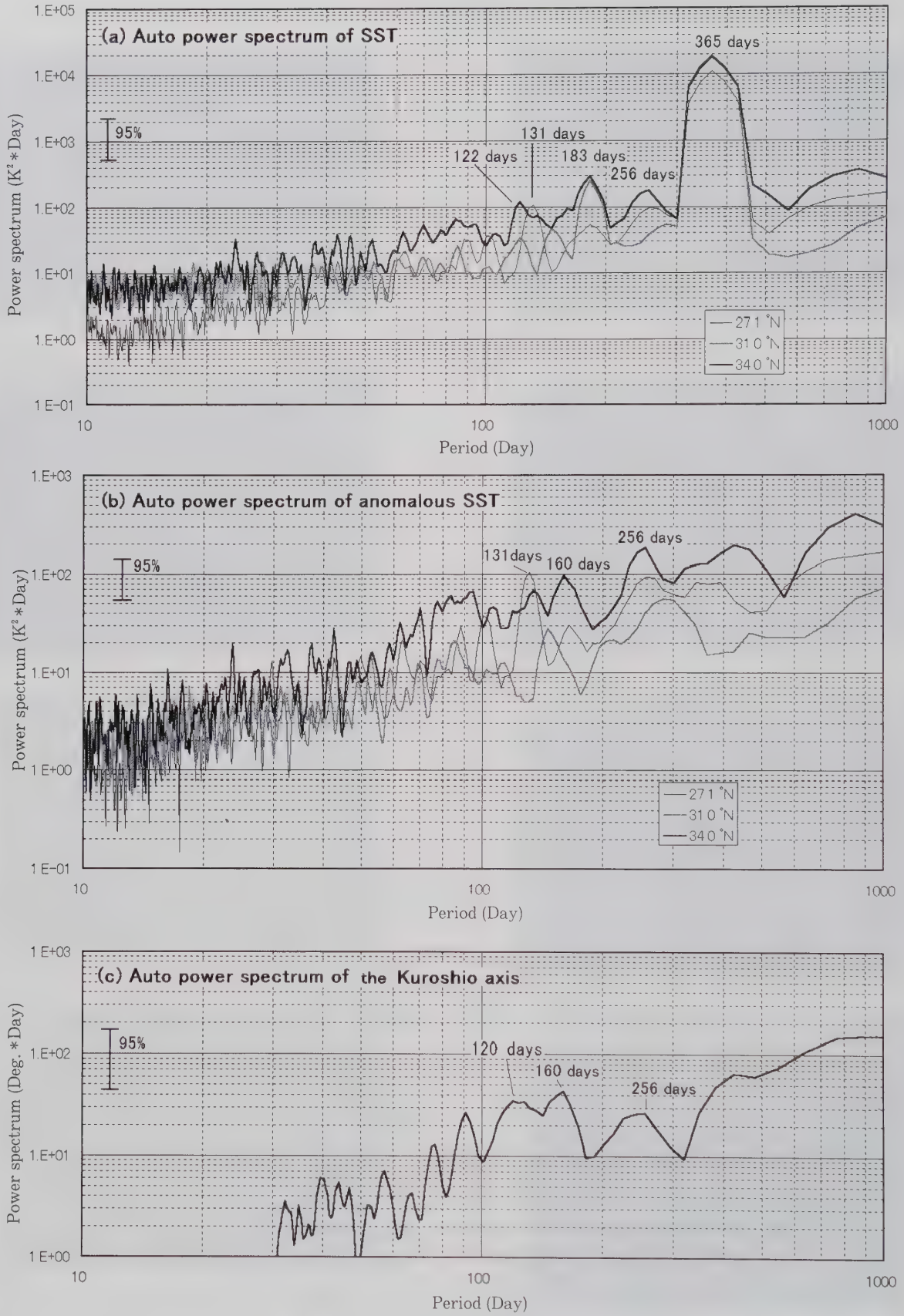


Fig. 5. (a) Auto power spectra of raw SST observed at 27.1, 31.0 and 34.0°N. (b) Auto power spectra of anomaly of SST deviated from the seasonal cycle observed at 27.1, 31.0 and 34.0°N. (c) Auto power spectrum of latitude of the Kuroshio axis crossing the observation line.

成を伴うこともあるからである。しかし，冷水塊は別として，急潮や内側反流といった暖水波及現象は一時的なものであり，先の事例，1984年7月の高温の期間は一月ほどあってこれらの現象がこの期間持続していたとは考えにくい。この時期は南側の海域も高い正の偏差を示しており，同様に，北偏時に低温だった1996年5月と6月には南側に強い負の偏差の領域が広がっている（Fig. 4(n)）ことから，水温変動における両海域間の強い関係が伺える。

次に，流軸付近の海域に着目する。この海域で特徴的なのが，偏差分布の縞構造が縦縞ではなく概して右斜め上に向かって傾いており，南側の方が位相が進んでいるように見えることである。そして，このずれの程度は黒潮流軸の変動と関係が深いように見える。そこで，まず，流軸が北上している時期に注目する。例として1983年を見ると（Fig. 4(a)），流軸は2月，4月，7月，9月，10月に大きく北上しているが，分布の縞構造はこの流軸緯度の傾きに沿うように傾いており，黒潮に伴って水温フロントが北上していることを示している。では，流軸が南下するときはどうか。水温フロントの南下を伴うのであれば，内側域において流軸緯度に沿って右下がりの縞構造が見られるはずであるが，いかなる場合もそのような構造は見られない。黒潮の北上時と南下時で水温フロントの強度に違いがあるのは興味深い。その一因として考えられるのが，蛇行に伴って内側域にしばしば形成される冷水域，もしくは冷水塊の存在である。この海域では，黒潮は北上時に通常蛇行流路をとる。北上時の例としてFig. 1に1984年春季の黒潮流型の変動を示す。北上時にはこの冷水域の存在のため，黒潮との境界（黒潮フロント）において南下時に比べてより強い水温フロントが生じる可能性が高いものと考えられる。このことは，右上がりの縞構造が内側域で強い負偏差が生じた時期に特に多く見られることでも理解できる（例えば，1985年の12月後半（Fig. 4(c)），1986年の5月後半（Fig. 4(d)），1988年の12月後半（Fig. 4(f)）。なお，水温フロントの時空間変動については次項で水温の南北勾配の分布を見ながら改めて述べる。

最後に，より南側の海域も含めた南北間の水温変動の位相差，並びに水温変動と黒潮変動との関係を検討する。そのために，まず，変動の周期特性を調べてみる。水温と航路を横切る黒潮流軸緯度の時系列をフーリエ変換し，いろいろな周期を持つモードに分解して，パワースペクトルを算出する。

Fig. 5(a)は，季節変動成分を除去していない生の水温変動のパワースペクトルである。1年周期のいわゆる季節変動成分が卓越しており，その2倍調，3倍調のピークも目立つ。100日以上の周期帯では256日のピークと27.1°Nのみに見られる131日のピークが特徴的である。また，70日から100日の周期帯では34.0°Nのパワーが低緯度域に比べて大きいこと，そして，さらに短周期の数十日の周期帯では27.1°Nのパワーが他に比べて小さいのが特徴的である。しかし，このスペクトルでは季節変動成分の影響で黒潮変動や擾乱に関連する周期特性が埋没している可能性が高いので，季節変動成分を除去した偏差成分のパワースペクトルを計算してみる（Fig. 5(b)）。季節変動成分とその高調波成分が消えて，256日，160日，131日のピークが卓越している。そして，31°Nのパワーが他と比べて小さいことが特徴的である。前報（小松ら，2002）や瀬川（1989）が指摘しているように，31°Nは水温変動の比較的小さい海域であり，この図はそのことを明瞭に物語っている。低周期側を見ると，27.1°Nのパワーは他と同程度であり，Fig. 5(a)で見たこの周期帯でのパワーの差は季節変動成分の影響によって生じたものであることが分かる。Fig. 5(c)は，航路を横切る黒潮流軸緯度の南北変動のパワースペクトルである。256日，160日，120日，90日のピークが顕著であり，これらのピークが出現する周期はFig. 5(b)の水温偏差のピーク周期とほぼ一致する。このことから，黒潮と水温変動の強い関連性が伺える。では，両者の相関の強度と位相のずれはどの程度あるのか。続いて，この点について調べてみる。

まず，緯度方向の水温偏差のスペクトル分布を見るために，Fig. 5(b)で示した自己スペクトルの周期－緯度分布をFig. 6(a)に示す。256日のピークが33.5～34.2°Nを中心に北部海域で卓越している。160日のピークも同じ海域で強く，80日より長い周期帯では南側の海域に比べてパワーの大きさが目立ち，この海域を流去する黒潮に付随した変動の影響が示唆される。そして，30°Nから33°Nにかけての中間領域は全体的にパワーが小さいのが特徴的である。

Fig. 6(b)は黒潮流軸変動と水温変動のクロススペクトルを計算して得たコヒーレンシー（モードごとの相互相関係数）である。256日の相関は全体的に高いが，29°Nから32°Nの中間領域で特に高いのが特徴的である。北部海域では160日，120日，78日の相関が高く，中間領域を挟んで，南部海域も同じ緯度帯で相関が高い。黒潮の流去する北部海域は妥当な結果としても，南部海域でも北部海域と同程度に相関が高いのは注目すべきである。では，水温変動の各モードの位相は黒潮変動の対応するモードとどの程度位相がずれているのだろうか。Fig. 6(c)は両者の位相スペクトルの周期－緯度分布図である。正値（明るい灰色）は水温変動の方が黒潮よりも位相が進んでいることを示し，負値（暗

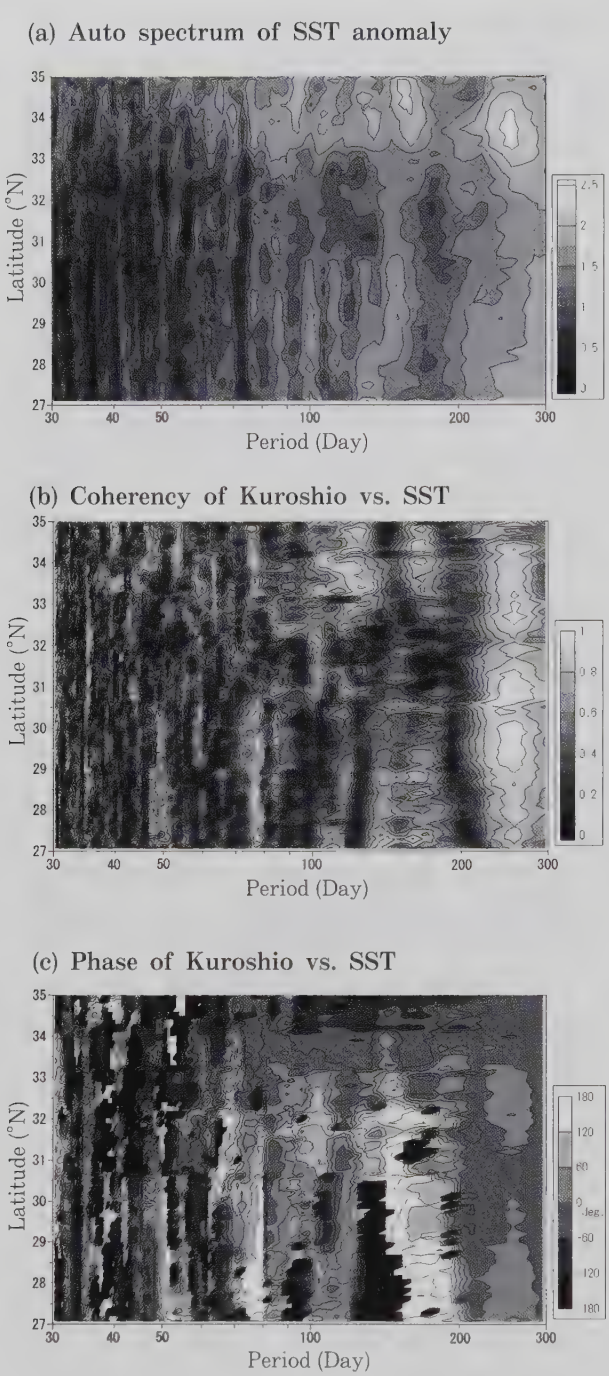


Fig. 6. (a) Contour of period-latitude distribution of auto power spectrum of anomaly of SST. The values are logarithmic and the contour interval is $10^{0.25}$ K^2 day. (b) Contour of period-latitude of coherency of latitude of the Kuroshio axis versus anomaly of SST. The contour interval is 0.1. (c) Contour of period-latitude of phase spectrum of latitude of the Kuroshio versus anomaly of SST, where positive values denote advanced phase of SST relative to the Kuroshio. The contour interval is 60 degree.

い灰色）は水温の方が遅れていることを示す。この図を見ると全体的に33°N以南の海域で黒潮に対して位相が進んでおり，逆に33°N以北では遅れていることが分かる。33°N以北は黒潮が流去する海域なので，黒潮の直接的な影響を受けた結果，水温変動の位相が黒潮より遅れることは妥当な結果だとしても，南部海域で位相の進みが見られるのはどのような理由だろうか。この事実は，位相の進んだ南部海域の水温情報をもとにした北部海域の黒潮変動の予測可能性を示唆している点で非常に興味深い。なお，この南北間の位相のずれの原因は次節で中規模渦の西進と絡めて考察する。

水温南北勾配の変動と黒潮流軸変動との関係

次に，水温の南北勾配を計算することで，南北間の変動の違いを際立たせ，黒潮変動との関連を調べてみる。

Fig. 7は前節の手法で計算した水温の南北勾配の時間－緯度分布図である。瀬川（1989）は本稿で扱う水温データの前半部分を用いて同様の解析を行っており，1 mileの北上で水温が0.04℃以上減少する海域に印を付けた分布図を作成し，以下のような結果を得ている。第一に，水温分布のパターンが，南北勾配の大きい黒潮流軸北側の海域，勾配の小さい流軸南側から29°Nまでの海域，そして再び南北勾配の大きくなる29°N以南の海域に大別されることである。第二に，黒潮流路が伊豆海嶺の東側を北上する時期には（Fig. 1参照），航路上を水温フロントが南から北へ伝播する現象が見られ，その速さが約8 cm/sであるということである。これらは非常に興味深い結果であるが，以下の疑問が残る。第一に，海域を三つに分けることができるとして，三者間の変動に関連性はあるのか。また，黒潮の流去する海域とそれ以南の二つではなく，どうして間に中間域（小松ら，2002）が存在するのか。次に，第二の点として瀬川（1989）は水温フロントの伝播は流路北上部の変動を捉えたものとしているが，内側域以南にもそのようなフロントの伝播のような現象は見られないか，そして見られるとしたとき，それは何に起因するのか，ということである。以上は，前項で指摘した水温変動の南北位相差が生じる原因と深く係わっている。

Fig. 7には緯度方向に1°当たりの水温勾配を示している。符号は北の方が高ければ正，低ければ負である。勾配が2℃より大きい領域は白く，－2℃より小さい領域は黒く塗りつぶしてある。ちなみに瀬川（1989）の設けたフロントの基準は1°当たりの勾配に換算すると－2.4℃になる。勾配の値は緯度方向の平滑化の手法に依存するので，その絶対値には不確定性が伴う。しかし，本稿で算出した勾配でも，強い負の勾配が出現する領域とそうでない領域との境界は黒潮流軸の緯度とよく一致しており，黒潮変動に伴う水温フロントの変動を示している。そして瀬川（1989）が指摘している

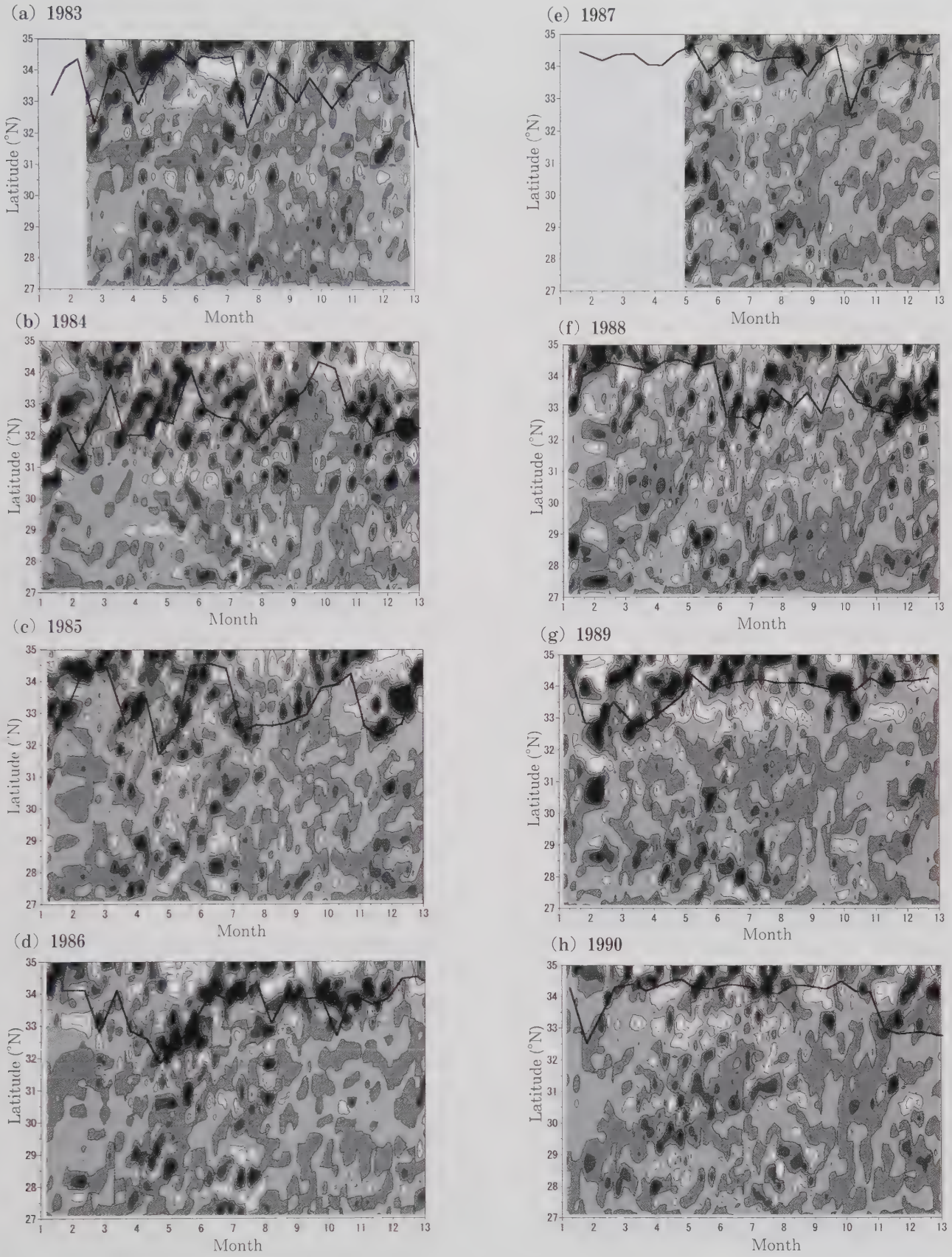


Fig. 7. Contours of time-latitude distribution of meridional gradient of SST obtained by a polynomial trend model. The thick black line denotes latitude of the Kuroshio axis and the contour interval is 1.0℃.

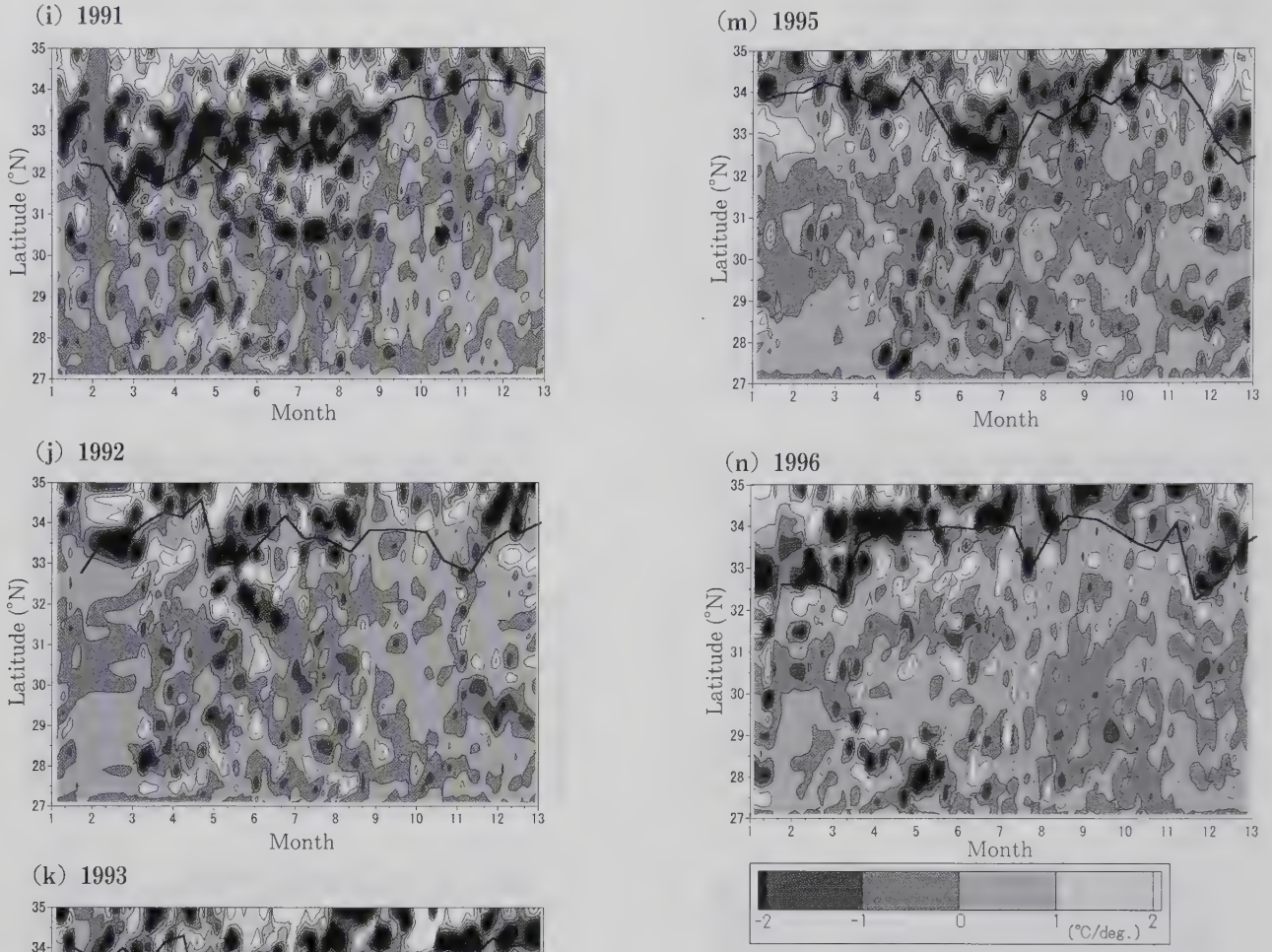


Fig. 7. (continued)

ように，勾配の分布が以下の３つの海域に大別できることが分かる。つまり，強い負の勾配が頻出する黒潮流軸の北側と30°N以南の海域，強い負の勾配の出現が少ない黒潮流軸の南側から30°Nの間の３つの海域である。しかし，問題は分布の南北間の関連性である。

勾配の分布を見ると，全体的に負偏差域の分布パターンが右斜め上に向いていることが分かる。年によってはっきりしない場合もあるが，1986年の４月から８月にかけての期間（Fig. 7(d)）や1988年の全期間（Fig. 7(f)）のようにそれとはっきり分かる場合もある。季節変動の南北位相差の影響も考えられるため，年周期成分を除いて同様の分布図を作ってもこのパターンは見える。また，強い負の勾配域（黒い斑点）と強い正の勾配域（白い斑点）が対になっている場合が多く見られるが，これは緯度方向の水温分布が瘤状になっていることを示す（Fig. 3)。そして興味深いことに，黒い斑点の列を右上に辿っていくと，黒潮流軸が北上して

いる時期に行き着く事例がいくつか見られる。比較的明瞭な例を挙げると，1983年7月後半から8月中盤にかけての黒潮北上に先んじて，27.5°N，3月下旬に見られた斑点が徐々に北上しているように見える（Fig. 7(a)）。かといって，右上がりの斑点の列があるからといって必ずしも黒潮の北上があるわけではない（例えば1990年前半（Fig. 7(h)）。それほど明瞭ではないが，Fig. 6(c)で示したように，これらは全体的に南の方が北よりも位相が進んでいたことを考えると妥当な分布パターンである。

以上，水温の南北勾配の時間－緯度分布図から，南の方が北よりも位相が進んでいる可能性が高いことを確認したが，では，この位相のずれは何に起因するのか。次節でこの点を考察する。

考　　察

南北位相差の問題について考察するのと，前節の結果を検証するために，まず，衛星海面高度場の時系列を見てみる。なお，ここで使用する海面高度偏差データはTOPEX/POSEIDON衛星で計測された海面高度偏差を最適内挿法により0.2°×0.2°に格子点化したデータをおがさわら丸の航路上に線形内挿した10日間隔の時系列である。Fig. 8は水温偏差，海面高度偏差，黒潮流軸緯度の時系列を期間の標準偏差で規格化し，60日の移動平均をかけて平滑化した時系列であるが，27.2°Nおよび29.0°Nは三者の変動に顕著なずれが認められる。一方，33.0°Nおよび34.0°Nでは黒潮の変動と，水温並びに海面高度の変動がよく一致している。この結果は，沿岸定地水温と沿岸潮位との関係でも同様である（Fig. 9）。これらの結果は，北部海域の変動が，ほぼ黒潮によって規定されていることを明瞭に示している。続いて，海面高度偏差の時間－緯度分布を見る（Fig. 10）。33°N以北の北部海域では，水温と同様に流軸北偏時には正偏差，南偏時には負偏差となっている。そして，流軸付近では水温変動に見られたような右上がりの縞構造が見える。

南方海域において，海面高度のこのような偏差分布を形成しているのは東方から伝播してくる中規模渦であることが知られている。Ebuchi and Hanawa (2001) はTOPEX/POSEIDON衛星の海面高度場からその伝播速度を7 cm/sと見積もっている。おがさわら丸の航走水温の変動，特に黒潮以南の変動を考えたとき，その変動は中規模渦の影響を受けていることが推察される。とりわけおがさわら丸が航行する海域は伊豆小笠原海嶺域であり，西進してきた中規模渦がこの海底地形の影響を受けて，擾乱を発生させている可能性が高い。黒潮以南の29～32°Nに水温変動が比較的小さい海域（中間領域）が存在することを瀬川（1989）や前報（小松ら，2002）でも指摘しているし，前節でもこの領域の変動が小さいことを見た。この海域の海底地形図（小松ら（2002）のFig. 1を参照）を見ると，ちょうどこの海域は海嶺が低い，つまり南北両側に比べて水深が深い海域に相当している。この海域の水温変動が小さい理由として，下層流の傾圧成分と海底地形との相互作用によって生じた順圧流による傾圧渦の移流効果との関連が示唆される（Sakamoto and Yamagata, 1996）が，実態は不明である。

Fig. 11は同緯度における水温偏差と海面高度偏差との時間-経度ラグ相関図である。28°Nでは相関係数の分布が左斜め上に向いた縞構造を成しており，水温変動が航路の東側での過去の海面高度変動と相関が強いことを示す（Fig. 11(a)）。これは，東方から伝播してきた中規模渦が航路上の水温変動に影響していることを示唆する結果である。しかも，相関が最大になるのが経度にして2°ほど東側の海面高度であることは興味深い。一方，黒潮域の34°Nでは左斜め上向きの縞構造は見られない（Fig. 11(b)）。そして，相関が最大になる海面高度偏差は経度で0.8°西側にあり，西方から流れてくる黒潮との関係を伺わせる。これらのことから，水温変動の南北位相差の一因として中規模渦の影響の時間的かつ空間的ずれ，特に，中規模擾乱の西向き伝播の南北非一様性が示唆される。

このような伝播特性は，擾乱が東方よりロスビー波モードで伝播して来ることを示すものであるが，傾圧ロスビー波は太平洋東岸で発生するとされ（e.g., White and Saur, 1983），伝播途中でハワイ島や天皇海山等の影響で擾乱を発生させているという報告もある（Jacobs *et al.*, 1993; Mitchum, 1995）。ただし，伊豆小笠原海嶺域の擾乱の発生原因については，前述の通りこの海嶺自体の影響はもちろんだが，黒潮続流域で発生する擾乱（Mizuno and White, 1983）や特に30°N以南では黒潮反流の影響（Ebuchi and Hanawa, 2001）も無視できないため，その詳細は不明である。しかし，伝播の南北非一様性という点に着目すると，Killworth *et al.*（1998）は傾圧と順圧双方の東西流の存在下でロスビー長波の位相速度を太平洋上で算出しており，これを参照すると，おがさわら丸の航路の北端35°Nと南端27°Nでは2 cm/s程度南の方が北よりも位相速度が速くなっている。このことは，東方における擾乱の発生源が同一であってもこれが西に伝播するにつれて位相速度の南北差によって擾乱の影響が南では北よりも速く現れるということが推察される。

Fig. 12は時間方向に60日の移動平均を施してデータ

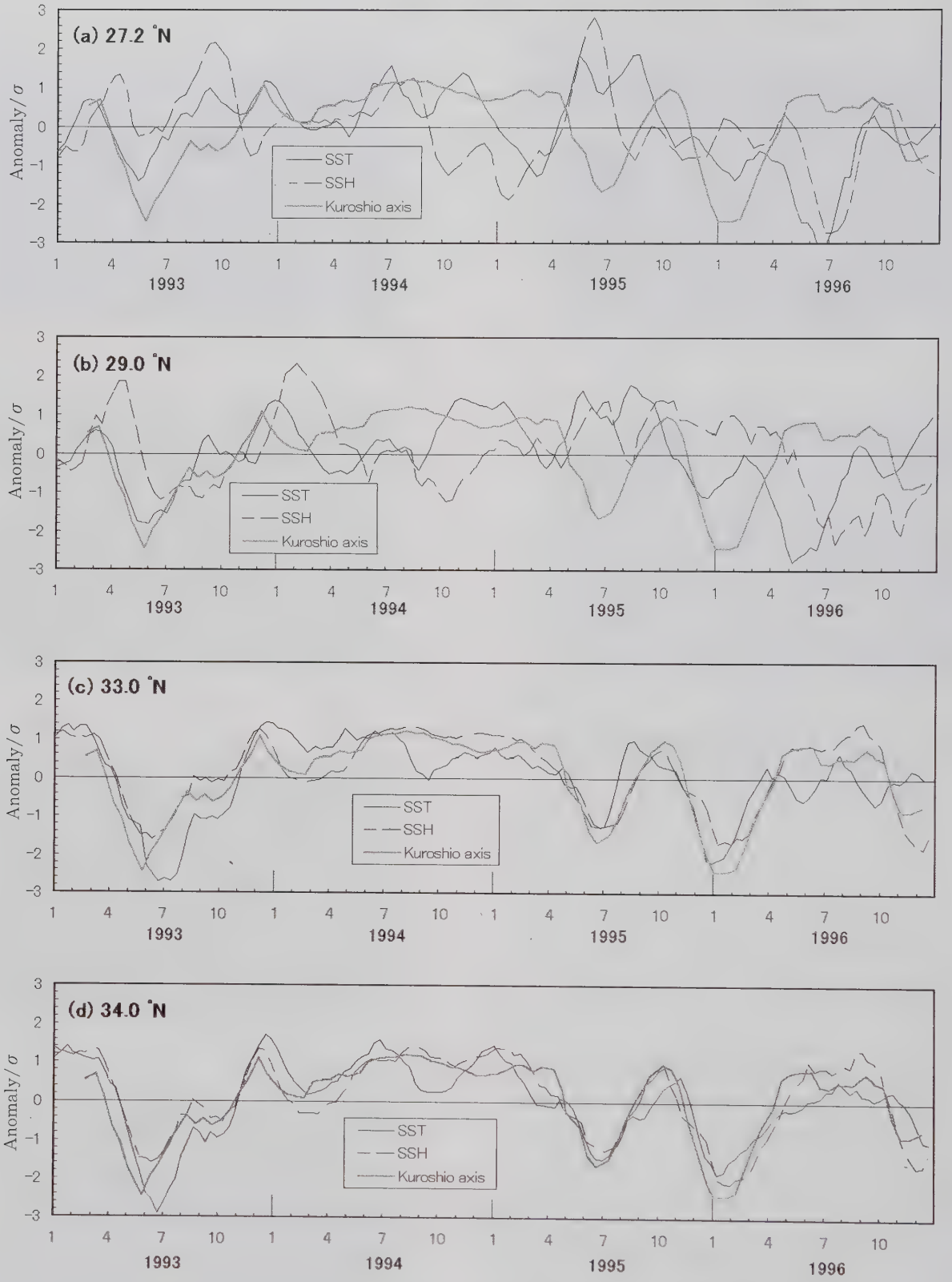


Fig. 8. Time series of anomaly of SST and SSH, the latitude of the Kuroshio axis which are smoothed by 60 days running mean and normalized by standard deviation of the period from 1993 to1996. (a) Time series at 27.2°N. The mean value and standard deviation of SST, SSH and Kuroshio are T=−0.22℃ and σ_T=0.56℃, H=0.41cm and σ_H =5.6cm, and 33.6°N and 0.45°, respectively. (b) At 29.0°N. T=−0.33℃, σ_T=0.60℃, H=0.28cm , and σ_H=4.0cm. (c) At 33°N. T=−0.20℃, σ_T=0.63℃, H=0.22cm, and σ_H=18 cm. (d) At 34°N. T=−0.15℃ and σ_T=1.0℃, and H=−0.26cm and σ_H=20cm.

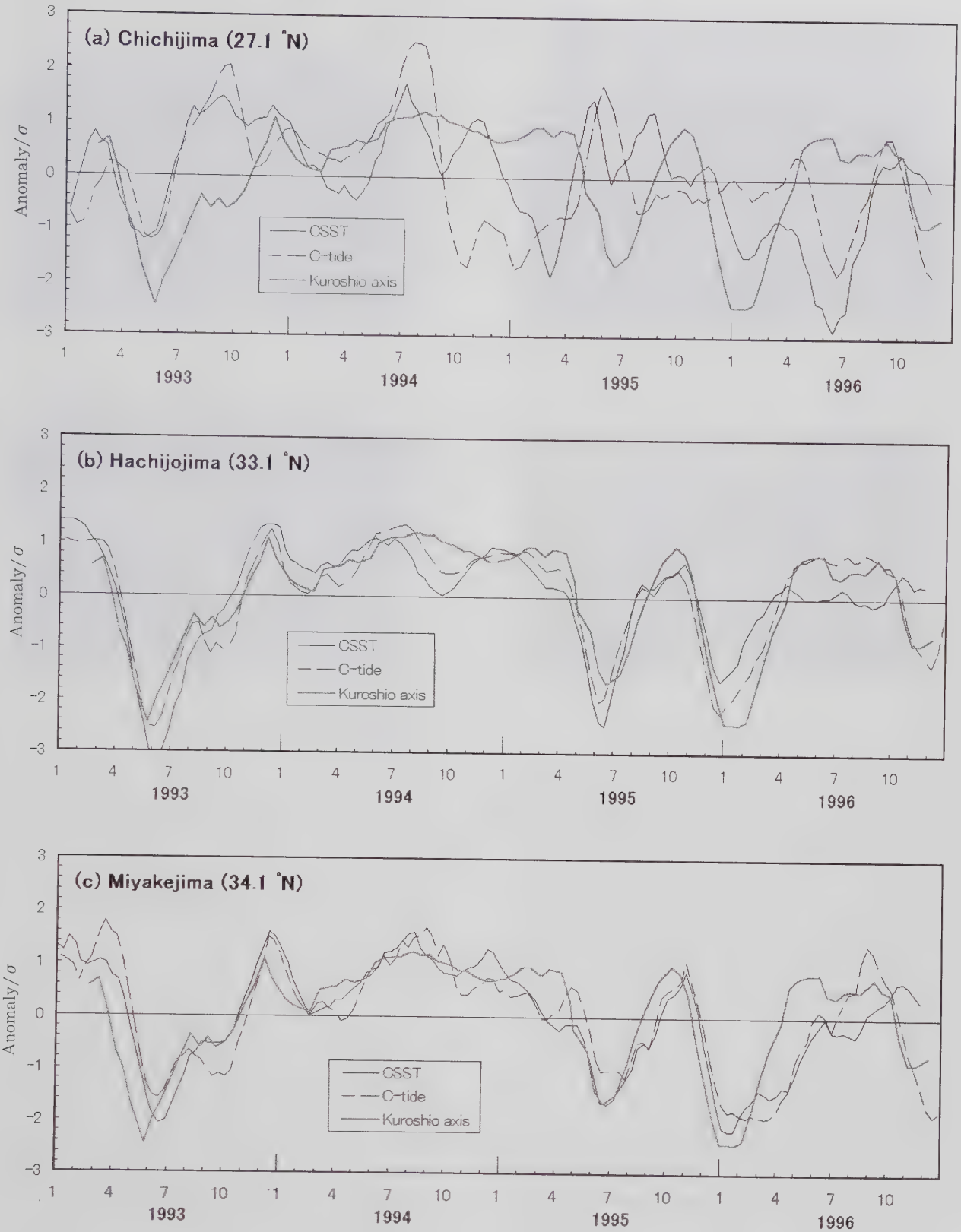


Fig. 9. Time series of anomaly of coastal sea surface temperature (CSST) and coastal tide (C-tide), the latitude of the Kuroshio axis which are smoothed and normalized same as Fig. 8. (a) Time series at Chichijima. The mean value and standard deviation of CSST and C-tide are T=-0.15℃ and σ_T=0.62℃, H=1.2cm and σ_H=6.4cm, respectively. (b) At Hachijojima. T=-0.23℃, σ_T=1.3℃, H=13cm , and σ_H=24cm. (c) At Miyakejima. T=-0.41℃, σ_T=1.3 ℃, H=-6.5cm, and σ_H=14 cm.

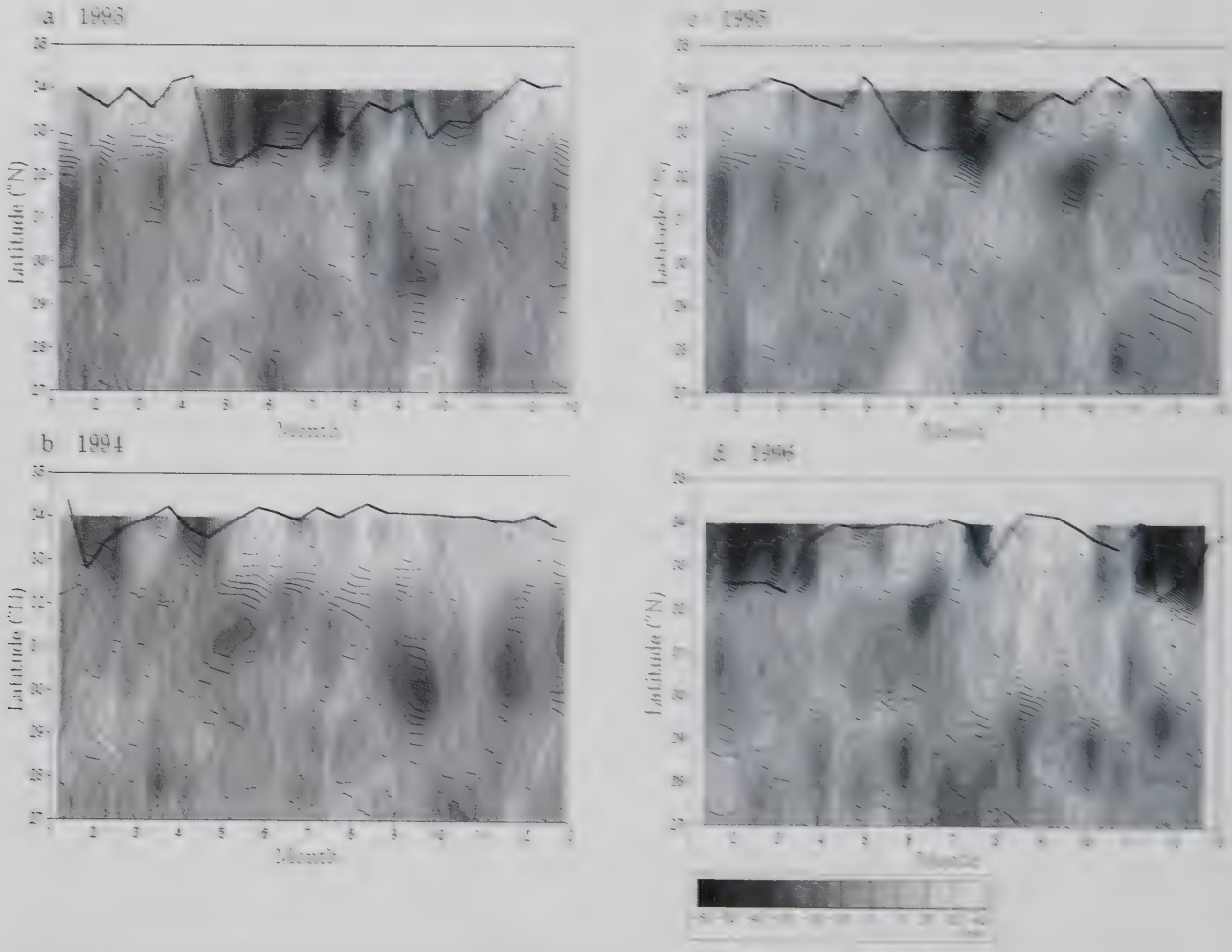


Fig. 10. Contours of time-latitude distribution of anomaly of sea surface height (SSH) along the observation line obtained by the altimetry satellite TOPEX/POSEIDON. The values are estimated by the optimal interpolation method. The thick black line denotes latitude of the Kuroshio axis and the contour interval is 10cm.

を平滑化した海面高度偏差の時間－緯度分布で，Fig. 10の領域を拡大したものである．なお，図には黒潮流軸変動も同様の平滑化を施してある．これをみると，正偏差と負偏差の帯状構造の境界が北上傾向を有しているように見える．これがある時期に連続していないことは偏差の軌跡に沿って北上していることを示すものではない．むしろ，前述したロスビー波の位相速度の南北差，つまり，東よりも西の方が波の伝播が速い現象を反映しているように見えるが，この例からだけでは確かな域をでない．ただし，黒潮流軸の追跡結果，ことに，正偏差領域を高から見に沿かって右斜めに追っていくと黒潮変動時にはきき，負偏差を追っていくと蛇行時に行き着くことが分かる．Fig. 12は負偏差域の出現緯度と時期から黒潮蛇行のおおよその時期がある程度推定され，正偏差域の出現緯度と時期から黒潮非蛇行期を推定できることを示唆している．例えば，1996年10月に24.5°Nに出現した負偏差から22ヶ月後（1998年8月）の蛇行形成が予想できる．

結　論

Fig. 11. [illegible]

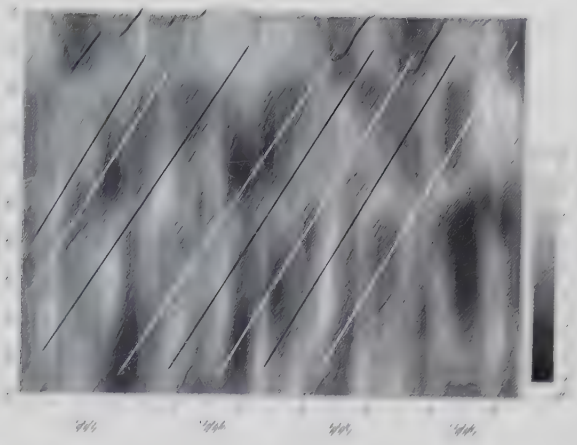


Fig. 12. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

な情報を提供していただき，かつ有益な議論をしていただいた。以上の関係者の皆様に心より感謝申し上げます。また，解析に使用した黒潮流路は海上保安庁海洋情報部（旧水路部）発行の「海洋速報（1983年～1997年）」を参照して算出した。

なお，本研究は，旧科学技術庁の研究プロジェクト「黒潮の開発利用調査研究」並びに中央水産研究所海洋生産部変動機構研究室の一般研究「日本周辺海域における水温等の長期変動特性の把握」の中で実施された研究の一部である。

文　献

Ebuchi N. and Hanawa K., 2000:Mesoscale eddies observed by TOLEX-ADCP and TOPEX/POSEIDON altimeter in the Kuroshio recirculation region south of Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 43-57.

Ebuchi N. and Hanawa K., 2001: Trajectory of mesoscale eddies in the Kuroshio recirculation region. *J. Oceanogr.*, **57**, 471-480.

Jacobs G. A., Emery W. J., and Born G. H., 1993: Rossby waves in the Pacific Ocean extracted from Geosat altimeter data. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 1155-1175.

海上保安庁海洋情報部, 1983-1997: 海洋速報海流図.

Kawabe M., 1985: Sea level variations at the Izu Islands and typical stable paths of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, **41**, 307-326.

Killworth P. D., Chelton D. B., and de Szoeke R. A., 1997: The speed of observed and theoretical long extratropical planetary waves. *J. Phys. Oceanogr.*, **27**, 1946-1966.

北川源四郎, 1993: 時系列解析プログラミング, 岩波書店, 東京, 390pp.

小松幸生，友定　彰，川崎　清, 2002: 伊豆小笠原海嶺域における定期船航走水温の時空間変動特性Ⅰ. 年々変動, 水研センター研報, **5**, 24-38.

Mitchum G. T., 1995: The source of 90-day oscillations at Wake Island, *J. Geophys. Res.*, **100**(**C2**), 2459-2475.

黒田一紀, 1983: 黒潮と卵稚仔プランクトンの短期変動. 東海区長期漁海況予報, **59**, 15-29.

増沢穫太郎, 1965: 黒潮大蛇行. 科学, **35**, 588-593.

Mizuno K. and White W. B., 1983, Annual and interannual variability in the Kuroshio Current System. *J. Phys.Oceanogr.*, **13**, 1847-1867.

Sakamoto T. and Yamagata T., 1996: Seasonal transport variations of the wind driven ocean circulation in a two-layer planetary geostrophic model with a continental slope. *J. Mar. Res.*, **54**, 261-284.

瀬川恭平, 友定　彰, 1983: 定期船による東京～父島間の表面水温観測. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **6**, 318－322.

瀬川恭平, 1989: 伊豆・小笠原海嶺域における表面水温変動の研究 －黒潮フロントの変動について－. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **12**, 406-410.

瀬川恭平, 1991: 伊豆・小笠原海嶺域の表面水温変動. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **14**, 255-260.

Senjyu T., Asano N., Matsuyama M., and Ishimaru T., 1998: Intrusion events of the intermediate Oyashio water into Sagami Bay, Japan. *J. Oceanogr.*, **54**, 29-44.

友定　彰，玉木信子, 1989:「すとれちあ丸」航走水温からの黒潮流路の推算. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, **12**, 395-405.

White W. B. and Saur J.F.T., 1983, Sources of interannual baroclinic waves in the eastern subtropical North Pacific. *J. Phys Occeanogr.*, **13**, 531-544.

柳　哲雄, 2001: 沿岸海洋学（第二版）, 恒星社厚生閣, 東京, 153pp.

水研センター研報，第5号，55－67，平成14年
Bull. Fish. Res. Agen. No. 5, 55-67, 2002

定置漁村の特性と観光定置の成立条件の関係について

松浦　勉*

Relation between characteristic of fixed shore net fishing village and formation condition for sightseeing fixed shore net

Tsutomu MATSUURA*

Abstract The number of commune which has sightseeing fixed shore net in commune is approximately 47 in Japan. Most of fixed shore net manager have started sightseeing fixed shore net since about 1990 in Japan. The license number of fixed shore net which are managed by all households in fishing village is approximately 135 at 2000 in Japan.

The village managed fixed shore net by all households have trended to promote positively sightseeing fixed shore net. These villages are admired to have excellent function of interchange promotion between urban people and fishing village inhabitant.

The sightseeing fixed shore net which can invite more visitors are mostly operated by fixed shore net managed by all households of the village. Formation condition of sightseeing fixed shore net in village with tourist home is making up the confidence between fishery cooperative and visited school. On the other hand, formation condition of sightseeing fixed shore net in the village with no tourist home is making up promotion system between fishery cooperative and village sightseeing development association.

Fishing village children have few opportunity of experience to see fishing activity on the Ocean. So, some manager of fixed shore net including no sightseeing fixed shore net have invited the pupil of local elementary and junior high school in order to promote understanding of fishing industry, extension of fish feeding, raising of attachment spirit to native town and provision of fishing successor.

Key word: fixed shore net, formation condition for sightseeing fixed shore net, tourist home, school

水産庁が1997年度に全国の小中学校を対象に実施した抽出アンケート調査によれば，有効回答453校のうち，約2割の学校が漁村で漁業体験を実施した経験があり，実施した学校の約8割で漁業体験の実施は有意義であり児童生徒も喜んでいるという評価を得た。また，今後，漁村での漁業体験を実施したいと答えた学校（有効回答校の1/4）で，実施したい漁業体験の内容として，地曳網，定置網，釣り，潮干狩り等の漁法をあげている（水産庁，1999）。

また，全国の小中学校では，2002年度から教科の枠にこだわらず体験的な活動を重視する総合的な学習の時間が本格実施された。高校は2003年度から本格実施される。日本修学旅行協会がまとめた2000年の高校の修学旅行調査によると，高校の修学旅行先のトップが「文化遺産の見学」で人気を博した古都・京都から，「自然体験学習」の北海道にとって代わられたとのこと

2002年7月19日受理（Received on July 19, 2002）
水産総合研究センター業績A第25号（Contribution No. A 25 from Fisheries Research Agency）
* 中央水産研究所　〒236-8648　神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4（National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura 2-12-4, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan）

である（朝日新聞，2001）。体験型，環境学習型重視の傾向を示している。

受け入れる側の漁村は，1990年代になって，魚価の低下や漁獲量の減少に伴う漁業経営の低迷等により，漁村経済が沈滞ムードにある。このため，一部の漁村においては，都市住民に漁業体験を通して漁村の自然や文化に触れてもらい，これにより漁村全体の収入の増加を図ることを推進している。

観光定置（有償による大型定置網の漁業体験，以下同じ）に関するこれまでの研究をみると，福井県三方町の遊漁船業の実態と経営（工藤，2002），静岡県南伊豆町妻良地区の漁業体験活動（幡谷，1999），徳島県下の観光定置を事例とした「体験・交流型」漁業の社会的評価（中原，婁，2002），高知県窪津漁協における観光事業の導入（乾，1996），鹿児島県下の観光定置と直売店（島，1995），沖縄県下の観光定置の実態について（上田，1995），全国規模で各種定置網による観光定置の実態について（松浦，2001），それぞれ述べている。しかし，観光定置が行われている漁村の特性などについての研究はほとんど行われていない。そこで，本研究では，全国の観光定置の件数および主要な観光定置実施地区における免許状況と観光定置の概要を明らかにするとともに，利用客数が上位4地区の観光定置の実施状況を比較検討し，これらの地区における定置網の村張り経営など定置漁村の特性と観光定置の成立条件の関係について明らかにする。なお，漁業体験の中で定置網を選択した理由は，定置網は沿岸域で大規模な漁具が用いられ大量の水揚げがなされることや，10～20人の漁師による共同作業であることから集団生活や社会のルールを学ぶことに役立つと考えたからである。

資料と方法

定置網は，漁業制度面からみると，定置漁業権にもとづく「大型定置網」と，第2種共同漁業権や知事許可漁業[注1)]にもとづく「小型定置網」の2つがあるが，本稿では，修学旅行（修学旅行以外の集団宿泊行事を含む，以下同じ）のように多人数の乗船が可能な大型定置網（以下，「定置網」）を調査の対象とする。

玉置（2001）の資料[注2)]から推定すると，観光定置が行われている全国の市町村の数は約47で，日本海に面した新潟～京都の各府県，島根県，太平洋側では静岡，徳島，高知，鹿児島の各県などにみられる。47市町村の観光定置実施地区のうち，インターネットや既存資料により利用客数の多いと思われる30地区について現地調査や電話の聞き取りにより調査した。47市町村の観光定置は，漁協が窓口となって実施されているものがほとんどである。この他，地方自治体（観光協会を含む）や遊覧船会社が窓口となって，観光船を仕立てて行う観光定置（滑川市のホタルイカ定置網や宮古市のサケ定置網など）も含まれるが，その場合には，定置網漁業者や漁協との連携はあまりなく利用客と漁村の交流が少ないので，本研究の対象外にした[注3)]。

注1）全国漁業協同組合連合会（1998）によると，岩手，福島，茨城など36県の漁業調整規則において，小型定置網漁業が知事許可漁業として規定されている。

注2）玉置（2001）によると，大型定置網と小型定置網の観光定置の実施市町村数は75であり，玉置私信による実施市町村リストから推定すると，うち大型定置網の実施市町村数は47である。

注3）観光定置の窓口は，漁協，民宿，市町村（観光協会を含む），遊覧船会社などが行っているが，漁協が窓口になっているのが大部分である。富山県滑川市のホタルイカ定置については，滑川市観光協会（事務局は滑川市商工水産課）が市の助成を得て観光船を運航している。また，宮古市の遊覧船会社は，運航コースの途中にある定置網の網上げ（サケ）を見学するものである。

結　果

観光定置の概要

まず，都道府県における観光定置の概要を都道府県における定置漁業権の免許件数・観光定置実施の市町村数・村張り経営の免許件数で示した（Table 1）。定置漁業権の免許件数は全体で1,875件であり，このうち，北海道が圧倒的に多く1,023件，石川県が106件，岩手県が95件の順になっている。

観光定置の利用客数は多いところは約7,000人，少ないところは10人前後のところもあった。Table 2に，利用客数が100人程度以上と比較的利用客数の多い観光定置8地区を選んで，免許状況や観光定置の内容を示した。福井県が3地区と多く，高知県が2地区となっている。観光定置に着手した年は，1990年以降の地区が多く，観光定置の窓口はすべて漁協である。また，免許権者の種類は，網組[注4)]，個人共有，漁協となっている。各県の定置網の沿革や県の指導の違いなどによって，免許権者の種類は異なっているが，福井県の個人共有と福井県以外の県の網組はいずれも，全村・全部落的に地元住民が出資して定置網を運営する村張り経営であった。また，後述するが，静岡県南伊豆漁協妻良支所の定置網は数年前まで免許権者が漁協の村張り経営であった。修学旅行を受け入れている地区は民宿を有する地区が2つ，民宿のない地区が1つの計3地

Table 1. Number of licences for fixed shore net, commune number performed sightseeing fixed shore net and licence number managed by all households in fishing villages by prefecture in 2000

unit : issue

Prefecture	Number of licences for fixed shore net (1)	Commune number performed sightseeing fixed shore net (2)	Licence number managed by all households in fishing villages (3)
Hokkaido	1023	2	
Aomori	20	1	
Iwate	95	3	7
Miyagi	46	1	
Akita	22	1	
Yamagata	2		
Fukushima	1		
Ibaragi	1		
Chiba	12	1	
Kanagawa	29		
Niigata	33	4	9
Toyama	79	1	6
Ishikawa	106	3	21
Fukui	49	6	32
Shizuoka	16	2	
Mie	53	2	20
Kyoto	36	1	
Hyogo	6		
Wakayama	13	1	5
Shimane	40	4	8
Yamaguchi	9		4
Tokushima	2	1	1
Kagawa	5		
Ehime	6		
Kochi	42	4	17
Saga	1		1
Nagasaki	58	3	4
Kumamoto	2		
Ooita	5	1	
Miyazaki	13		
Kagoshima	34	4	
Okinawa	16	1	
Total	1875	47	135

(1) Number of licences surveyed by Fisheries Agency in 2000
(2) Commune number performed sightseeing fixed shore net is due to Tamaki (2001)
(3) Number of licences managed by all households in fishing villages is added to the number of licences with over 11 stock holders for fixed shore net, except Fukui prefecture and estimated number of licences in Fukui prefecture

区であった。また，地方公共団体等から助成を受けて漁業体験学習機能を有する定置漁船を取得したところが3地区あった。

利用客数上位4地区における観光定置の実施状況

観光定置の実施状況を詳細に把握するため，利用客数が多い上位4地区における観光定置の内容を示した(Table 3)。上位4地区は，静岡県南伊豆漁協妻良支所

Table 2. The general status of licences and sightseeing fixed shore nets in which user numbers are over 100 persons

Prefecture/Commune	Fishery cooperative	Starting year of sightseeing fixed shore nets	Information	Number using sightseeing fixed shore nets (1)	Kind of licence
Niigata/Awashimaura	Awashimaura	Middle of 1960s	Fishery cooperative	about 100	Voluntary association
Shizuoka/Minamiizu	Minamiizu (Mera branch)	1968	Fishery cooperative (Teichi-bu)	about 700	Fishery cooperative
Fukui/Koshino	Koshino	1995	Fishery cooperative	about 400	Joint owners
Fukui/Mihama	Nyuu	1999	Fishery cooperative	about 400	Joint owners
Fukui/Mikata	Mikatatyo (Miko branch)	1985	Fishery cooperative (branch)	about 1100	Joint owners
Tokushima/Kaifu	Tomonoura	1998	Fishery cooperative	about 600	Voluntary association
Kochi/Tosashimizu	Kubotu	1998	Fishery cooperative	about 700	Voluntary association
Kochi/Muroto	Shiina	1997	Fishery cooperative	about 100	Voluntary association

Prefecture/commune	Management style	Tourist home	Acceptance of school trip	Subsidy for acquisition of fixed shore net vessel
Niigata/Awashimaura	Managed by all households in fishing village	Yes	No	No
Shizuoka/Minamiizu	Managed by all households in fishing village	Yes	Yes	No
Fukui/Koshino	Managed by all households in fishing village	No	No	Yes
Fukui/Mihama	Managed by all households in fishing village	Yes	No	Yes
Fukui/Mikata	Managed by all households in fishing village	Yes	Yes	No
Tokushima/Kaifu	Managed by all households in fishing village	No	No	Yes
Kochi/Tosashimizu	Managed by all households in fishing village	No	Yes	No
Kochi/Muroto	Managed by all households in fishing village	No	No	No

(1) Number using sightseeing fixed shore nets is the recent round number, in which the number of general public users and school trip students are added, but, the data from Shizuoka/Minamiizu is from 1995.

Table 3. The status of the four largest users of sightseeing fixed shore net

Tourist home	Tourist home		No tourist home	
Prefecture/Fishery cooperative	Shizuoka/Minamiizu (Mera branch)	Fukui/Mikatacho (Miko branch)	Kochi/Kubotsu	Tokushima/Tomonoura
<District characteristic>				
All households (1)	138 households	35 households	397 households	279 households
Fishery cooperative member (2) (Total of regular and associate)	143 persons	35 persons	336 persons	165 persons
Fishery manager number by class (3)	Under 5 ton class (75%), 5～10 ton class (13%) large-scale and small-scale fixed shore net (28%)	Under 5 ton class (70%), 5～10 ton class (3%) large-scale and small-scale fixed shore net (18%)	Under 5 ton class (66%), 5～10 ton class (15%) large-scale and small-scale fixed shore net (4%)	Under 5 ton class (66%), 5～10 ton class (15%) large-scale and small-scale fixed shore net (4%)
Number of independent fishery manager by full-time job and kengyo (involved in another business) (4)	Full-time job (11%), first-type kengyo (56%) second-type kengyo (33%)	First-type kengyo (3%) second-type kengyo (97%)	Full-time job (41%), first-type kengyo (48%) second-type kengyo (11%)	Full-time job (30%), first-type kengyo (60%) second-type kengyo (10%)
Number of fishery manager involved turist home	28 managers	22 managers	Nothing	Nothing
<Content of fixed shore net>				
Licensee	Cooperative (stop of fixed shore net in 1996)	Joint owners	Fixed shore net voluntary association	Fixed shore net voluntary association
Major captured fish	Yellowtail, horse mackerel, mackerel	Yellowtail	Yellowtail, horse mackerel, others	Yellowtail
Fishing period	All year	All year	All year	From 1 Nov. to 10 July
Stock owners of fixed shore net (5)	143 persons	35 persons	283 persons	140 persons
Proportion of fixed shore net production value compared to the total value at the district	Half	Three forths	Half	One third
Employee (vessel)	22 persons (3 vessels)	22 persons (3 vessels)	36 persons (4 vessels)	15 persons (2 vessels)
Cropping time per day	2 times per day	1 time per day	2 times per day	2 times per day
<Content of sightseeing fixed shore net>				
Purpose	Service promotion for turist home guest	Service promotion for turist home guest	Management steadiness of fishery cooperative	Promotion for hometown learning
Start year	About 1968	1985	1996	1998
Information place	Teichi-bu of fishery cooperative	Branch of fishery cooperative	Fishery cooperative	Fishery cooperative
General public user	About 2000 persons (1995), about 100 (2001)	About 300 persons	About 600 persons	About 200 persons
Rate	300 yen (adult), 150 yen (child)	500 yen (adult), 300 yen (child)	2000 yen (adult), 1000 yen (child)	3000 yen (adult), 1500 yen (child)
<Content of experience learning through sightseeing fixed shore net>				
Start year of experience learning	1982	1988	1998	1992
Student number	About 5000 persons	About 800 persons	About 100 persons	About 400 persons
	Junior high school trip	Junior high school trip	Junior high school and high scool trip	Primary, junior high, and high school
Accommodation	Tourist home	Tourist home	Hotel	Public accommodation
<Promotion system>	Promotion by cooperation with commune sightseeing association and fishery cooperative	Promotion by cooperation with commune sightseeing association and fishery cooperative	Promotion by fishery cooperative	Promotion by fishery cooperative and commune education committee

Number of (1) ,(2) and (5) are up to 1995 year data for Shizuoka/Minamiizu, recent data of others
Number of (3) and (4) are from the tenth fishery census (1998)

（全体の利用客数が約7,000名），福井県三方町漁協神子支所（約1,100人），高知県土佐清水市窪津漁協（約700人），徳島県海部町鞆浦漁協（約600人）であった。また，これら4地区を民宿の有無により区分すると，民宿を有する妻良支所と神子支所は，民宿を有しない鞆浦漁協と窪津漁協よりも利用客が大幅に多い。以下に，4地区における地区特性，大型定置網の内容，観光定置の内容，体験学習への対応，推進体制などを示した。

（1）静岡県南伊豆漁協妻良支所

妻良地区は伊豆半島の南端に位置し，全世帯が138，漁協組合員数が143人の純漁村である。1960年に伊豆急下田駅が完成したことを契機に観光地化が進み，当時下田から南の沿岸域には宿泊施設がなかったので，妻良地区の漁家も民宿を行うようになった。

観光定置が行われた定置網の近年の水揚げ金額は7,000万円～1億2,000万円であった。この定置網は，漁協合併前は妻良漁協が漁業権者であり，妻良地区の住民が世帯ごとに1株ずつ出資した村張り経営であった。1965年に妻良漁協など9つの漁協が合併して現在の南伊豆漁協が設立された。その時に，県の指導により，この定置網の免許権者は南伊豆漁協になった。しかし，妻良地区の住民は引き続き自分たちで経営することを強く希望したため，特例的に南伊豆漁協の中に定置部を設けて，妻良地区の住民による村張り経営が継続された。このことから，妻良地区の定置網は免許権者は漁協であるが，経営形態は村張り経営であることが明らかになった。

観光定置を行うきっかけは，妻良地区の民宿宿泊客の中に，定置網への乗船を希望する客が増えたことによる。当初は料金を取らなかったが，一部のお客が気を使って乗船のお礼に酒1升を持ってきたりしたため逆に定置網側が恐縮し，1968年頃から大人1人100円（その後300円）の料金を設定した。観光定置の一般客は，1975～1985年は年間約2,000～3,000人であった。

修学旅行の妻良地区への受入は，1981年に岐阜県の中学校が修学旅行で同町の弓ヶ浜国民休暇村に宿泊した際に，中学校側が妻良地区の定置網体験を要望したのがきっかけである。同中学校は，翌1982年も，同様に弓ヶ浜国民休暇村へ宿泊して，妻良地区の定置網体験を計画した。この計画に対して，当時のW妻良観光協会長は，休暇村ではなく妻良地区の民宿に泊まって欲しい旨要請した。これに対して，学校側は民宿に生徒が宿泊した時に安全が確保できるかどうかを危惧した。W会長は，東京のホテルに泊まっても1つの部屋にボーイが1人つくことはないが，民宿に泊まると少なくとも2人のボーイ（民宿の夫婦）がつくので民宿の方が安全であるとして，学校側へ妻良地区の民宿へ宿泊する了解を取り付けた。これが全国的に初めての中学校修学旅行の漁村民宿への受入と思われる。妻良地区はその後も毎年多数の修学旅行を受け入れており，これまで安全面での問題は発生したことはない。妻良地区は集落規模が小さくまとまりが良いので，安全性が確保されやすい。妻良地区の民宿は，現在は28軒であり，すべて漁協の組合員である。

妻良地区の民宿における一般客の受入人数は，ピーク時は5万人近くであったが，現在は景気の低迷により，大幅に減少したといわれている。現在の修学旅行の受入人数は約5,000人であり，岐阜，大阪，愛知，静岡，群馬等の各府県の中学生が多い。中学生の修学旅行の日程は，東京で1泊，妻良地区で1泊の2泊3日のケースが多いようであり，妻良地区には午後到着し，漁港で入村式を行った後，各民宿に投宿する。魚の開き，民宿ごとに夕食とミニ体験教室（民宿側が漁業，漁村の話をする），早朝食事の前に定置網体験，退村式というスケジュールである。妻良観光協会が修学旅行の受入について主導的役割を果たしているので，観光定置の推進体制は整備されているといえる。

1940年から続いた定置網の村張り経営は，その後の冬期の不漁により経営収支が悪化したため1996年に廃業となり，定置網の漁業権は南伊豆漁業(株)に移り，現在はM個人経営体が所有している[注5)]。現在M個人経営体は，定置網に使用する隻数を従来の3隻から2隻に減少し，省人化を進めて乗組員も削減した。また，市場への水揚げ時刻の関係で朝の出港時刻を従来よりも早めた。このため，観光定置は，M経営体が窓口となり現在も引き続き行われているが，お客を受け入れにくい状況になっている。この結果，修学旅行への定置網体験は行われなくなり，一般利用客数も従来に比べて減少し，2001年には約100人になった。

このため，妻良地区を訪れる修学旅行は定置網に代わる漁業体験として，現在は，刺し網またはかご網（タコやカワハギねらい）の網揚げ体験を行っている。具体的には，漁船を所有する民宿は，民宿ごとに生徒を乗せて刺し網の体験を行っており，また，漁船を所有していない民宿はM経営体が所有する定置漁船に多くの生徒を乗船させて集団でかご網の体験を行っている。いずれにせよ，修学旅行への定置網体験が中止されてから民宿側の負担が増えている。

なお，妻良地区の修学旅行受入以降，伊豆半島の漁村民宿への宿泊を希望する中学校が増加したため，妻良地区だけでは収容しきれなくなった。妻良地区周辺の漁村は，定置網を有していないが，妻良地区と同様に小規模な純漁村で民宿を有している地区が多い。そして，これら漁村のうち子浦地区（南伊豆町）や須崎

地区（下田市）は1990年頃から修学旅行を受け入れるようになった。また，ここ１～２年新たに受入を始めた漁村も増えており，現在，伊豆半島の漁村全体が受け入れている修学旅行は1万人を超えている。

（2）福井県三方町漁協神子支所

神子地区は，若狭湾に突き出た常神半島に点在する集落の一つであり，全世帯数と漁業世帯数が同じ35世帯のため，漁協組合員数も35人（すべて正組合員）であり，極めて小規模な純漁村である。市街地からの距離が離れているので他産業へ就労する機会が少ない。神子地区における民宿は，道路の開通により1971年頃急増して20軒くらいとなり現在に至っている。

神子地区の定置網は，合併前は神子漁協が免許権者であり，35世帯による村張り経営であった。1983年に三方町内の４つの漁協（神子，小川，世久見，常神）が合併して三方町漁協を設立したことに伴い，神子漁協は三方町漁協神子支所になった。合併後の免許権者は個人共有となり，引き続き35世帯による村張り経営となった。

35人（世帯）は定置網漁業権の共有者でありかつ従事者なので，全世帯が定置網に従事する義務があった。従来は従事者数が35人なので全世帯が定置網に従事していたが，1985年頃から水揚げ量が減少したことと省人化機器の導入により従事者を減らし，現在は22人で操業している。このため，35人の中から22人が毎年順番によって定置網に従事している。定置網は１日１回の早朝２時間操業なので，定置網操業が終われば従事者は別の仕事に従事する。1960年代まではマグロやブリが多数水揚げされ，各世帯の年間収入の相当部分を定置網収入に依存した時期もあったが，近年になってこれら高級魚の水揚げが減少したため，近年における定置網の年間の水揚げ金額は4,000～5,000万円足らずである。しかし，他の３地区と異なり定置網経営の継続が優先され，赤字を出さないように水揚げ金額に見合った人件費しか出さないことから，従事者１人あたり賃金は低く抑えられている。多くの従事者は漁業収入の不足分を民宿等の収入により十分まかなっているようである。神子地区の定置網は集落の唯一の資源とみなされており，他の３地区と異なり株制度がない。

観光定置は1985年にＭ神子観光組合長が，定置網の水揚げ金額が減少したため，副収入である民宿のサービス向上を目指すことがきっかけで行われるようになり，三方町では神子地区だけが観光定置を行っている。料金は大人が500円，子供が300円である。

神子地区が修学旅行を受け入れるきっかけは，1988年に小浜市の国立若狭湾少年自然の家の宿泊予約が満杯となり，岐阜県のある中学校の修学旅行が同自然の家に宿泊できなくなったため，旅行会社が三方町観光協会に修学旅行の受入を要請したことである。これを受けて神子地区で宿泊し，定置網体験をする修学旅行が始まった。それ以降毎年５～６校の岐阜県の中学校（約800人）が修学旅行で神子地区に来るようになった。２泊３日の旅行が多く，小浜市の同自然の家に１泊したあと，三方町に１泊するケースが多い。

三方町における修学旅行に対する体験メニューは，魚の開き，定置網体験，漁村の暮らしと歴史などであり，妻良地区の場合と大体同じである。三方町の小川地区と世久見地区は，神子地区と同様に村張り経営の定置網を有しており，観光定置を行っていないが，受け入れた修学旅行に対しては，定置網体験を行っている。三方町全体で約2,700人の修学旅行を受け入れている。日本海側各府県の中でこのように多数の修学旅行を受け入れているのは三方町だけと思われる。

三方町観光協会は，各地区の観光組合から構成され，修学旅行における体験学習の内容を紹介したしおりを作成しており[注6]，また，神子観光組合は修学旅行や一般客の受入を積極的に行っていることから，観光定置の推進体制は整備されているといえる。

（3）高知県土佐清水市窪津漁協

窪津地区は，足摺半島の付け根の東側に位置しており，全世帯が397，組合員数が336人の純漁村である。足摺半島は四国有数の観光地であり，半島の南端にはホテルが多数あるため，窪津地区には民宿などの宿泊施設がない。

窪津地区の定置網は，戦前から網組（窪津共同大敷組合）を免許権者として村張り経営が行われ，現在は４億円程度の水揚げを行っている。観光定置を行うきっかけは，窪津漁協における他の漁業の漁獲金額の落ち込みを補完するために，観光漁業を推進したことである。1993年９月に土佐清水市の自主企画研修制度によって，漁協役員が先進地視察を行った際，広島県内海町田島漁協における小型定置網を利用した観光定置を見て，窪津でもやれるという自信を持った。窪津漁協が窓口になって，1994年４月末の連休から，個人経営の小型定置網を利用した観光定置を実施したところ好評であったので，1996年４月末から定置網による本格的な観光定置に移行した。料金は大人が2,000円，子供が1,000円である。

また，高知西南修学旅行等誘致推進協議会が環境学習型の修学旅行を誘致している中で，1998年に旅行会社から窪津漁協に対して，修学旅行生徒を一般漁家に宿泊させて欲しいという依頼があった。地元では窪津が観光漁業を盛り上げている時期なので協力しようということになり，同年に神戸市の中学校と横浜市の高

校の2校の生徒を一般漁家25戸が受け入れた。一般漁家への宿泊は，生徒と漁家の相互にとって大変好評であったが，採算面を度外視したり，多少無理をして受け入れた漁家もあったため，1999年以降は行われていない。しかし，これがきっかけとなり，横浜市と神戸市から毎年修学旅行が足摺半島南端のホテルに宿泊して，定置網体験を行っている。また，旅行会社からの要望に応えて，海況の変化などにより観光定置が実施できないときは，漁港近くで磯遊びをした後，カツオのたたきを作って食事をするようにした。このため，炊飯施設や関連施設も整備されている。

窪津周辺の他地区では観光定置が行われていないこともあり，マスコミが好意的に窪津の観光定置を報道したため，窪津の知名度が急速に高まり，観光定置が窪津の代名詞となった。これが，これまで窪津地区を素通りしていた足摺岬観光客と漁協を結びつけるきっかけとなった。窪津漁協は観光定置に次ぐ2番目の漁業と観光の一体化を図る事業として，1995年1月から直販事業（朝市）を始めた。これによって，足摺観光客が窪津地区を訪れるようになり，1995年の直販事業による販売額は618万円であったが，2000年には直販施設を整備したため，2001年の販売額は6,000万円に増加した。また，閑漁期に漁船を休ませておくのはもったいないとして窪津遊漁船組合を設立し，1996年から遊漁船業（船釣り，ブリなどのルアー釣り）とホエールウオッチングも行っている。

窪津漁協は観光協会と連携していないが，観光定置の知名度によって都市住民等を漁村に呼び込んで水産物販売や遊漁を推進している。

（4）徳島県海部町鞆浦漁協

鞆浦地区は，徳島県と高知県の県境近くに位置しており，世帯数が279，組合員数が165人の純漁村である。周辺に中核となる都市がなく，集客力のある観光地にも恵まれないため民宿がない。鞆浦地区は黒潮の反流がぶつかるために定置網漁場として恵まれており，県内で唯一の定置網が営まれている。

海部町は，1992年からふるさと学習を行っている。これは，東京暮らしが長かった当時の町長が，都会に住んでいる友人やその子供が自分のふるさとのことをあまりに知らないことから，子供にふるさとを自覚させる必要があると考えたからである。

ふるさと学習を充実させるために，1995年度からふるさと教員制度がスタートした。教師以外の学習支援者であるふるさと教員は町教育委員会が任命し，小学校で地元の産業についての授業を行う。ふるさと教員は，現在，水産業と農業から1人ずつ任命され，水産業は，鞆浦漁協の副組合長のN氏が任命されている。鞆浦地区に位置する海部東小学校においては，県内で唯一の定置網の歴史を生徒が知ることが，鞆浦の水産業を学習する上で重要となっている。そのため，小学5年生を対象に，定置網体験を行うとともに，ロープの結び方，網の直し方，魚釣りの体験が行われ，年間3日間水産業の授業時間が当てられている。

5年のクラスを担当しているT先生は，定置網体験では，確かに，子供達の多くは船酔いで苦しい思いをする。しかし，その苦しみが，逆に，漁業に従事する自分の親たちの職業理解や食卓に出される海産物を残さず食べようとする意識へとつながっている。2000年度に海部東小学校を卒業した児童の1人が，将来の夢として「漁師」と書いた。その文字を見たとき，ふるさと教員制度の成果を実感したと述べている。

観光定置を行うきっかけは，鞆浦漁協が海部町の小学校の他に，より広く県内外の学校や一般客にも定置網体験をしてもらうことを目的にして，1997年度に農林水産省山村振興事業の補助を得て漁業体験学習船を整備したことである。この学習船は他の3地区の定置漁船より大型の19トンであるため，お客をより多く乗船させることができ，便所を船内に有している（省人化機械の導入により全体の乗組員数は導入前の32人から15人になった）。そして，現在では，県内の小中学校，高校（水産高校を含む）が毎年定置網体験を行っているほかに，県内外からも一般客を受け入れている。料金は大人が3,000円，子供が1,500円であり，この4地区の中で一番高い。観光定置は，町教育委員会と連携を取りながら漁協が主体となって実施しているが，これまでのところ，受入人数が少ないこともあり，観光協会との連携は弱体である。

なお，海部町の海部という地名は，全国に何カ所かみられるが，漁労を主体とする海人の集落という意味がある[注7]。したがって，徳島県の海部町には，かつて漁労を主体とした海人が住んでいたと思われる。しかし，海部東小学校の子供は，男子は野球，女子はバレーボールに熱中しており，テレビの影響も大きく受けているため，海や漁業と接点のない子がほとんどである。最近の漁村の子供は，学校のプールを利用するため砂浜で泳ぐことが少なくなるなど，海と接する機会が少ないという不自然な状況にある。このため，最近の海部町の子供は，都会の子供や山の子供とほとんど変わらなくなったといわれている。

以上の4つの地区の事例から民宿の有無により主要な比較を行うと，民宿を有する地区は，全世帯数が少なく，第2種兼業の割合が多く，また，観光定置に取り組むきっかけが民宿宿泊者に対するサービス向上という明確なものであった。また，民宿のない地区は全

世帯数が比較的多く，専業者や第１種兼業者の割合が高い。また，観光定置に取り組むきっかけは漁村来訪者の増加による漁協経営の安定やふるさと学習の推進などの複数であった。

注４）網組（大敷組合，大謀網組合などを含む）は，任意組合のため法人格はないが，社団としての統一性を有しているので，「人格なき社団」と呼ばれている。網組は，歴史的に，地区の多くの住民が定置網の株主となっている場合が多く，漁協とは別の事業体組織である。網組の実態は地域により異なっているが，一般的には全村・全部落的な地元住民の共同経営組織（村張り経営）と，出資制をとり理事会，総代会等の執行体制が確立している企業性の強い経営組織（生産組合的経営）に分かれる。

注５）妻良地区の定置網は，従来から夏期は好漁，冬期は不漁の漁場特性を有しており，当初は半年（３～８月）しか操業を行わなかったが，1950年代半ばになって，乗組員を確保しやすくするために周年操業に転換した。定置網の村張り経営は1960年代までは安定していたが，1970年代半ばから冬季の不漁が顕著になり，人件費がかさんで赤字経営が続いた。この結果，1996年に定置網の資産を伊豆急行(株）傘下の南伊豆漁業(株）に売却した。南伊豆漁業(株）の時に省人化が図られ定置網経営は悪くはなかったが，その後の伊豆急行(株）の経営方針の変更により再び売却され，現在はＭ個人経営体により営まれている。

注６）三方町観光協会(2001）は，海の体験学習のしおりにおいて，魚の開きを作る，ロープの結び方を習う，漁村の暮らしや歴史について学習，魚釣り，定置網引き上げ見学，養殖魚の餌やり，ボート乗船体験など，12項目にわたって体験学習の内容を写真付きでわかりやすく紹介している。

注７）長崎（1981）によると，日本の沿岸漁業は，南方系漁業である海女などによって太平洋側と日本海側を南から北へ，黒潮や対馬暖流に沿うように伸びていった。この原動力をなしたのが，海部の民であった。もぐり，釣り，または網を使う南方系漁業は，瀬戸内海の東部，特に大阪湾で技術的な発展をし，これが日本全国へ広がって行く。「和名集」が編集された９世紀中頃には，明らかに海人の集落と思われる海部，またはそれに類似した名をもつ郡や村が17カ所あったと記載されている。

考　　察

上記で示した都道府県における定置漁業権の免許の状況や利用者数が多い地区における観光定置の実施状況から，定置漁村の特性と観光定置の成立条件について以下に考察した。

定置漁村の特性

定置網の村張り経営は，免許権者が網組，個人共有，漁協と多岐にわたるため，免許権者の名称から村張り経営の有無を判別することは困難である。このため，ここでは，網組における構成員数が11人以上の免許件数（103件）と網組の免許権者がいない福井県における個人共有のうち村張りと推定される免許件数（32件）の合計値である135件（定置網漁業権全体に占める比率は約７％）を全国の村張りの件数とみなした（Table 1)。なお，免許権者が漁協の件数は全部で369件であるが，南伊豆町妻良地区のように漁協が免許権者でありながら村張り経営を行っていた事例は最近あまりないと思われるので除いた。

村張り経営は，法人格を持たないため資本の内部留保が困難であり，第三者との取引も代表個人名で行うために問題が生じやすいなど経営基盤が脆弱な面がある。漁業法の改正が行われた1962年当時の水産庁担当官は，定置網の村張り経営は社会経済事情の進展に伴い，多くは漁民による企業性の強い網組経営（生産組合的経営）あるいは漁協自営（村張り的経営ではなくあくまでも漁協主体による経営）などに移行しているので消滅していくものと予想していた[注８]。このため，定置漁業の免許の優先順位に関する1962年の漁業法改正において，村張り経営を含む人格なき社団の優先順位を認める根拠規定を廃止し，経過措置として付則において当分の間従来の取扱いを踏襲することとされた。そして，2001年の漁業法改正において，この人格なき社団の経過的な扱いを定めた漁業法付則第３条が廃止された経緯がある。

小沼（1988）は漁村を８つに類型化した上で，定置漁村における株の所有や沿革などについて述べている[注９]。利用客数が上位4地区における村張り経営をみると，村張りの成り立ちや定置網経営，地域社会などについてそれぞれ特性を有していることが明らかになった[注10]。また，これら定置漁村の特性をみると，景観的には，農地が少なく海岸線に沿って漁家が並んでいる，集落の規模が小さいまま維持されているため景観が保全されやすい，自然が残されており風光明媚であるという特徴を有している。漁村社会の観点からみると，定置網収入の一部が神社や学校の整備に寄付されたため公共施設の整備状況が良い，全世帯数に占める漁業世帯の割合が高いため純漁村が維持される，定置網収入を各世帯へ均等に配分するため戸数制限がある，定置網への出資は１世帯１株の平等株が多く貧富の差が

小さいことから人間関係が非常に円満で共同体意識が高いという特徴がある。また，漁業の面では，大漁時に全世帯に対する漁獲物の配布などの互助システムが維持されている，定置網は多様な魚種が相当量水揚げされるので，民宿は宿泊客に満足のいく地元の魚料理を提供できるといった利点がある。

現在の村張り経営の定置漁村は，他の多くの漁村と同様に水揚げ金額の減少などの問題を抱えており，村張り経営を放棄した地区もいくつか見られる。しかし，村張り経営の漁村は他の漁村に比べて地元住民にとって受益の多い社会であるため，それを維持するための努力が払われてきたものと思われる。村張り経営の定置漁村が行う観光定置は他の漁村に比べて地元住民の利益を優先する傾向があるため，民宿や他の地元住民が受益することが多いことから地元において受け入れやすく協力も得やすい。1962年の漁業法改正時には消滅していくものと予想された村張り経営の定置漁村は，1990年頃以降観光定置を積極的に推進するようになり，都市との交流機能の高い漁村として評価されつつあると思われる。

観光定置の成立条件

利用客数の多い観光定置はどのような特性を有する地区においてどのような受入を行っているのか，観光定置の成立条件について検討する。

観光定置が行われている市町村数はTable 1に示したように全国で47であり，このうち，相対的に利用客数が多い8地区をみると，いずれも村張り経営であった。このため，村張り経営の地区においては，なぜ観光定置の利用客数が多いのか，その理由について考察する。そもそも，観光定置は，それ単独で儲かるものではない。定置網漁業者からみれば，定置網の年間水揚げ金額は数億円になるのに対し，観光定置の利用客からの料金は年間数10〜数100万円にしかならない。また，定置漁船にお客を乗せる場合，小型の漁船ほど船上が手狭であるため漁労作業時においてお客が邪魔な存在になりやすい上，お客を乗せるためには傷害保険に加入する必要があり，さらに小型船舶検査機構による漁船検査において定員の増加に伴う検査コストも増加する。このように，観光定置自体があまり収益性の高いものではないので，直接的な漁労利益を優先する個人経営体においては，観光定置の取り組みに消極的にならざるを得ない面もある。先述した南伊豆町妻良地区は，定置網の経営主体が村張り経営から個人経営体に移行したことに伴い，修学旅行に対する観光定置が中止になった。このことから，民宿の有無にかかわらず，村張り経営が観光定置の成立条件として重要な要因であることが浮き彫りにされた。

次に，Table 3において，民宿地区と非民宿地区の間で，観光定置の料金設定と推進体制に顕著な違いが見られたので，両地区を比較しながら観光定置の成立条件について考察する。民宿地区においては，民宿の宿泊客に対するサービス向上という明確な目的があるため，観光定置の料金が安く設定されやすい。神子地区の観光定置の料金は500円であり，これは船舶検査の費用が余分にかかるため，料金を徴収するようになったが，船上で刺身の試食を行うので儲けは度外視している。観光協会や民宿組合（観光組合）等からの要請という強いインセンティブにより漁協が観光定置を行うので，推進体制が整備されやすい。また，南伊豆漁協妻良支所や三方町漁協神子支所の地区をみると，全世帯数が少なく漁村規模が相対的に小さいために安全性が確保されやすく，修学旅行を受け入れやすい環境になっている。景気の低迷により一般客の宿泊が減少している現在において，民宿側は景気の影響を受けない修学旅行の受入を大いに歓迎している[注11]。また，一般客は冬期や夏期における週末利用が多いのに対し，修学旅行は4〜7月の平日利用が多いので，営業的にもメリットが大きい。このことから，民宿地区においては，推進体制が既にかなり整備されているので，体験メニューの充実など受入の質的向上に努めて，旅行会社や学校側との信頼関係を維持することが重要な観光定置の成立条件といえよう。

また，非民宿地区における観光定置は，観光協会等の支援が少なく推進体制が不十分なので，漁協が独自に推進していることが多い。このため，観光定置の推進に際しては，漁協長のリーダーシップや定置漁船取得時の公的助成の有無などが重要な要因となりやすい。また，観光定置の料金は一定の収益を得ようとするために民宿地区の場合よりも相対的に高い。今後観光定置の利用客数を増加させるためには，漁協と観光協会等が連携を図り推進体制を整備する必要がある。現在利用客数が少ない非民宿地区においても，旅行会社からの問い合わせはかなりあるので，推進体制を整備して広報活動を積極的に行えば，今後利用客が増加する可能性は十分にあると思われる。このことから，非民宿地区においては，観光協会等と連携を図り推進体制を整備することが重要な観光定置の成立条件といえよう。

今後，全国的に観光定置の実施地区を増やし利用客数を増加させるためには，村張り経営以外の定置漁村においても積極的に観光定置を実施することが不可欠である。村張り経営でない定置漁村においても，景観，漁村社会などで村張り経営の定置漁村と類似した面を持っているところは多い。先に述べたように，子浦地

区や須崎地区は，妻良地区の修学旅行受入の先例を踏まえ，定置網以外の漁業体験を実施して多数の修学旅行を受け入れている。このことから，村張り経営以外の定置漁村においても，上記に述べた観光定置の成立条件に十分留意しつつ観光定置を推進することにより，修学旅行などにより利用客数を増やすことが可能であろう。

さらに，あわせて，地元の子供を対象とした定置網の漁業体験についても考えてみたい。全国の津々浦々の漁村には，1960年代半ばまで櫓付きの伝馬船があり，子供が櫓を漕ぐという光景がよく見られた。しかし，その後，伝馬船が船外機船に変わったため，子供が船で遊ぶという機会が少なくなった。高度経済成長期以降に生まれた親達，すなわち，現在の30～40歳代の親は，子供時代に自然を相手にした遊びをあまり行わなくなった世代である。その当時から，漁業や農業における兼業化が進み，子供が漁労作業や農作業を手伝うことが少なくなった。このため，現在においては地元の漁村の子供に対しても漁業体験が必要になってきた。最近，観光定置を実施していない地区を含む多くの定置漁村では，地元の小中学校側の要請に応えて，年に1度程度学校行事の一環として生徒に定置網体験を実施するところが増えているようである。定置網体験を通して，漁労作業の厳しさや自分の親や関係者が従事している漁業を理解することができる。地元の若い人が漁師になっていないことを子供なりに憂慮することなどから，漁業の後継者対策という面における期待もある。なお，本研究は，農林水産省農林水産技術会議の交付金プロジェクト研究「農村経済活性化のための地域資源の活用に関する総合研究」の一環として実施したものである。

注8）定置漁業の免許の優先順位に関する1962年の漁業法改正において，村張り優先規定が廃止された。水産庁（1962）は廃止の考え方を次のように述べている。「定置漁業の免許については，従来，いわゆる孤立部落の「村張り」経営が特例的第1順位として規定されていた。これは，先の制度改革当時，まだ地域的に残っていた全村民，全部落民による定置経営を予想したものであったが，このような産業分化，職業分化が行われる以前の全住民的村張り経営は，その後の社会経済事情の進展に伴い消滅し，多くは「漁民による網組経営」あるいは漁協自営などに移行している。したがって，村張り経営についての特例的第1位順位を規定しておく意義がなくなったので，これを削除したものである」と述べている。また，「漁業法の一部を改正する法律の施行について」（1963年2月8日付け水漁第774号農林事務次官）では，定置漁業の免許において，第1優先順位を認められていた人格なき社団（網組）は，法人格を有しないため，構成員全員の共有名義で免許を受け，免許後の地元漁民の参加ができない封鎖的な組織であることから，近代的な組織への改編が望まれるものである。このため，その優先を認める根拠となっていた規定（漁業法第16条第15項（法人以外の社団は，前14項の規定の適用に関しては，法人とみなす））を削除したが，その改編と法人化のためには若干の準備期間が必要と認められるので，改正法付則第3条において，当分の間は従来どおりその優先を認めることとなった。この当分の間とは，おおむね今回の免許切替後，長くともその存続期間すなわち5年を考えており，次期切替えにはこの付則を削除してその優先を認めない原則に戻ることを予定しているので，その旨をお含みのうえご指導ありたい，と通達された。なお，この付則の削除は，水産基本法の制定に伴う漁業法の一部改正時である2001年に実施された。

注9）小沼（1988）は，漁村を類型化して，採貝採草漁村，養殖漁村，沿岸小漁村，定置漁村，大型網漁村，カツオ釣漁村，出稼漁村，湖沼漁村の8つに区分している。この中で，定置漁村について以下のように述べている。①定置漁村の場合は，漁場が限定されており，その生産力の如何によって左右される。そこでは，労働の生産力ではなく，漁場の生産力が漁民にとって重要となる。その漁場の生産力（豊度）に合わすために戸数制限を行うことがかなり多くみられる。②漁法が一つの大規模なものであるだけに個々人がそれに参加するというような形はとらない。一つの体系的な作業に特定の人数が参加すれば足りる。したがって，そこでは労働するものは輪番制にする場合も生じうるし，また特定の者に限られてしまう場合もある。所有と労働配分とを一つにしておくことが，定置漁村の体制を維持するために必要なことはいうまでもない。そこで，戸数制限をしてこの労働と所有の分裂を防ぐことが行われる。次・三男他出の原則がこれである。③内部において一般に「所有」は株に分かれてくる。それが平等株として出ているところが少なくないが，決して昔から平等であったのではない。維新後の漁村には平等株のもの（新型）が多いが，旧藩時代からできている漁村では「株」は土地の所有，貢租の高によって百姓株と水呑の無株のものに分かれていたことが多く（旧型），それが平等株になるのは大きな漁村変革を明治，大正，昭和にわたって経てからのことである。

注10）4地区の村張り経営について，村張りの成り立ちや定置網経営，地域社会などの特性を述べる。①静岡県妻良地区の定置網は，以前は個人経営体が所有して

いたが，1940年に地元住民が出資して妻良漁協（当時は漁業会）の自営となり，村張り経営が始まった。定置網の利益は住民には配当せず，集落内の全世帯が受益を受ける水道や港，神社の整備，学校の増設などに充当された。このため，南伊豆漁協に合併された当時は旧９漁協の中で共同施設の整備が最も進んだ地区であった。また，アジなどが大量に漁獲された時には地区内に放送して各世帯に魚を取りに来てもらっていた。定置網経営の赤字の累積額が大きくなったため1996年に村張り経営を廃業したが，土地などの資産を多く保有していたことや南伊豆漁業(株)が定置網の資産を買い取ったことにより，解散時には全株主に出資金を全額返還した上多少の配当金を有していた。②福井県神子地区の定置網は，以前は同地区の12世帯によって営まれていたが，1887年頃部落全体の均等なる漁業権として村張り経営が始まった。西田村誌（1955）によると，「神子の大敷は部落唯一の資源であって，現在部落の各家の収入の７割から８割まではこの大敷網の配当金であるのをみてもその重要性は明らかである」と記されている。また，三方町史（1990）には，「昔からこの地域の集落（小川，神子，常神等）では分家が認められず，次男，三男は，自分の集落の外へ出なければならないことになっており，『兄貴は田地田畑は皆もらい，叔父は便所の踏み板さえあたらない』とはこの地域の語り草になっていると言うが，神子でも人口の増減は目立たないが，戸数は多少の増減を示しており，小川や常神も同じである。しかし，現在でも，このおきては尊重されており，弟は家を出て生計を立てなければならないので，高校を終えて大学へ進学する傾向がみられる」と記載されている。このように，神子地区は，長子相続を行っているので，ここ数10年間世帯数が35戸のままである。1983年の漁協合併時に定置網の赤字を解消するために，神子地区の全世帯が26万円ずつ補填した経緯があるが，村張り経営の歴史が長いこともあり，他の３地区とは異なり定置網の株は存在しない。③大敷組合35年のあゆみ（1974）によると，高知県窪津地区の定置網は，以前は個人あるいは資本家により経営されていたが，1939年に地元民の貧困窮状の打開ならびに資本家による利益搾取を除去し漁場開発と漁獲の増産，地元住民の経済発展，就労漁民の待遇改善等を目途として，地元住民の出資による窪津共同大敷組合が設立され村張り経営が始まった。漁協の正組合員は基本的には１世帯１人であるが，世帯が別であれば，次男や三男も加入できる。しかし，大敷組合への加入は審査が厳しく長男のみであり，加入金が100万円と高額であり（漁協の出資金は18万円），現在，漁協の正組合員は336人，大敷組合の組合員は283人である。1999年は定置網が好漁であったため，1株あたり25万円の配当があった。窪津地区では，毎年旧正月に地区の氏神様である壬子神社へ定置網の大漁祈願に行く習慣がある。この日は大敷網の株主，非株主を問わず，村総出で多数の人が大漁祈願に詣でている。そして，大漁があると，全世帯に漁獲物が配られる。④徳島県鞆浦地区の定置網は，以前は個人経営体が所有していたが，1932年に地元住民が出資して鞆大敷組合が設立され，村張り経営が始まった。漁協の正組合員（１口が１万円）は，以前は１世帯１人であったが，1988年頃以降１世帯何人でも正組合員になることができるようになった。しかし，鞆大敷組合（１口が30万円）は１世帯１人（長男）が基本であり，次男以下が株を得るためには新しい世帯を持つ必要がある。更に，大敷組合への加入を申し込む時に半分の15万円を支払い，その後満３年を経た４年目に残りの15万円を支払った後，加入から６年を経た７年目に株主の権利が発生する。現在，漁協の正組合員は151人であり，大敷組合の株主は140人である。また，大敷組合の株主が死亡しても，遺族に対して３年間株主の権利を与えている。

注11）三方町全体の観光客の宿泊客の人数をみると，1985年が418千人であり，1989年が424千人でピークであったが，その後漸減傾向になり，2000年は238千人となり，1989年に比べて56％に減少した。また，神子地区についてみると，全体の統計はないが，夏期海水浴客の宿泊客の人数は1985年が12.6千人であり，1990年は15千人に増加した（1991年と1992年のデータはなし）が，その後減少して1999年は６千人に急減し1990年に比べて40％にまで落ち込んでいる。このような中，毎年800人程度の人数を安定して確保できる修学旅行の受入は神子地区の民宿にとっては大切なお客となる。

文　献

朝日新聞，2001: ２月３日付け，「高校修学旅行北海道が１位（自然志向反映）」

乾　政秀，1996: 高知県窪津漁協．漁協，**61**，56-59.

上田不二夫，1995: 定置網漁業と漁協活性化事業－読谷村漁協の事例－．ていち，**88**，19-34.

工藤貴文，2002: 三方町漁協地区における遊漁船業の実態と経営．平成13年度遊漁船業活性化推進事業，26-31.

窪津共同大敷組合，1974: 大敷組合35年のあゆみ，pp.7-8.

小沼　勇，1988: 漁村の構造，漁業政策百年，農文協，pp.392-394.

島　秀典，1995: 定置網観光と直売店－鹿児島県野間

池の事例から－．ていち，**87**，45-51.
水産庁編，1962: 新漁業法の解説，水産社，pp.97-105.
水産庁，1999: 漁村体験活動の手引き，水産庁資源管理部沿岸沖合課遊漁・海面利用室，pp.8-10.
全国漁業協同組合連合会，1998: 各都道府県漁業調整規則集，1271pp.
玉置泰司，2001: 都市と漁村の交流・連携による活性化－体験漁業による活性化－．地域漁業学会第43回大会個別報告，29.
中原尚知，婁　小波，2002:「体験・交流型」漁業の社会的評価－徳島県鞆浦漁協における大敷網観光事業を事例として－．北日本漁業，**30**，85-100.
長崎福三，1981: 魚食の民，北斗書房，pp.88-132.
西田村誌編纂会(編)，1955: 西田村誌，西田村，pp.88-89.
幡谷純一，1999: 静岡県南伊豆町妻良地区，漁業体験活動の手引き，水産庁資源管理部沿岸沖合課遊漁・海面利用室，pp.91-95.
松浦　勉，2001: 観光定置の実態と特性．水産技術と経営，**47**(**3**)，15-23.
三方町史編纂委員会(編)，1990: 三方町史，三方町，pp.1173-1174.
三方町観光協会，2001: 三方町海の体験学習のしおり，6pp.

水研センター研報，第5号，68－113，平成14年
Bull. Fish. Res. Agen. No. 5, 68-113, 2002

博士号論文

北太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* (Brevoort)の年齢，成長および成熟に関する研究[*1]

巣山　哲[*2]

Study on the age, growth, and muturation process of Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort) in the North Pacific[*1]

Satoshi SUYAMA[*2]

Abstract The Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort) is widely distributed in the subarctic and sub-tropical North Pacific Ocean and is one of the most important commercial fish species in Japan. However, biological information on this fish has been scarce, especially theories about age and growth, lifespan, and reproduction process are not yet established. This study aims to reveal the life history of this species in the western North Pacific.

Estimation of the age and growth of Pacific saury based on the daily otolith growth increments: Growth of Pacific saury was studied based on counting daily growth increments with a scanning electron microscope (SEM). The Pacific saury caught from the western North Pacific were divided into three groups; the small-size group (knob length: 200-240 mm), medium-size group (knob length: 240-280 mm) and large-size group (knob length: >280 mm), and showed increments of 256±26.0 (S.D.), 405±76.1 and 566±48.2, respectively. Based on daily growth increment formation, we determined that the ages of the 3 groups were about 8, 13, and 19 months. Small- and large-size fish were considered to have hatched from autumn to winter and medium-size fish from spring to summer. The oldest specimen of Pacific saury examined in this study was about 23 months of age; thus, the lifespan of Pacific saury in this area seems to be at least 1.5 years. No difference in growth rate between fish from the central and western North Pacific were observed in the present study.

Formation period of otolith hyaline zones of Pacific saury in the western North Pacific: The formation period of hyaline zones in the otoliths of the Pacific saury (n=1,106) collected from the western North Pacific during February 1991 to December 1992 were examined. Five types of otoliths were observed: type I (no hyaline zone), type II (incomplete hyaline zone along the outer otolith edge), type III (one complete hyaline zone), type IV (two hyaline zones) and another type. Approximately 80% of the small- and medium-sized fish (<280 mm) exhibited type I otoliths, and 15.8% and 65.4% of the large-sized fish (>280 mm) showed type II and type III otoliths, respectively. Most type IV otoliths were observed in larger fish(>314 mm). The first hyaline zone in the otoliths of small- and medium-sized fish was estimated to form during winter.

2002年7月26日受理 (Received on July 26, 2002)
水産総合研究センター業績 A 第28号 (Contribution No. A 28 from the Fisheries Research Agency)
[*1] 北海道大学審査学位論文（掲載するに際し，投稿規定に沿って一部修正した）
[*2] 東北区水産研究所八戸支所　〒031-0841　青森県八戸市鮫町字下盲久保25-259 (Hachinohe Branch, Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory, 25-259, Shimomekurakubo, Same-cho, Hachinohe, Aomori 031-0841, Japan)

Maturity, spawning and ovarian cycle of Pacific saury : The reproductive biology of Pacific saury were studied by using histological observation of gonads, collected during 1991 to 1992 from the western North Pacific (n=606). Pacific saury were multiple spanner with asynchronous oocytes developments. The smallest matured fish was 253 mm and most large-size fish (>280 mm in knob length) were considered to have spawned. Atretic oocytes of yolked and /or late stage cortical alveoli oocytes were observed in the gonad of post-spawning fish. Since, perinucleolus and early stage cortical alveoli oocytes would remain in the gonad of post-spawning fish and their fat condition recovered the same level of immature fish. These atretic oocytes would disappear until the next spawning season. Pacific saury survive after the first spawning. The large-size fish were estimated to be more than one and half years in the former study, which means they become mature fish within 1.5 years after hatching.

Key words: Pacific saury, age, growth, maturation process, North Pacific

第1章 緒 言

第2章 耳石日周輪に基づく日齢と成長の推定
1．材料と方法
2．結 果
1）体長組成
2）体長と輪紋数の関係
3）ふ化輪とふ化輪内の輪紋数
4）日齢と体長の関係
5）耳石日周輪に基づくふ化時期の推定
6）耳石日周輪に基づく初期成長の比較
7）耳石透明帯と日周輪の関係
3．考 察

第3章 耳石透明帯に基づく加齢の推定
1．材料と方法
2．結 果
1）耳石のタイプ区分
2）透明帯の形成時期
3）耳石タイプと体長の関係
4）耳石タイプの季節的変化
5）耳石透明帯形成時の体長
6）耳石透明帯の形成と水温の関係
3．考 察

第4章 組織学的観察に基づく雌の成熟過程
1． 材料と方法
2．結 果
1）卵形成の区分
2）排卵後濾胞および退行卵の消長
3）卵巣卵の発達様式と成熟度の設定
4）各成熟度の外見的観察
5）成熟体長の推定
6）卵巣卵組成および卵径頻度分布
7）バッチ産卵数の推定
8）肥満度
9）成熟度と水温の関係
3．考 察

第5章 サンマの回遊、成長と成熟の関係
1．材料と方法
2．結 果
1）1991年から1992年における採集点の推移
2）体長組成の推移
3）体長組成と耳石タイプ
4）体長組成と成熟度
5）成熟と耳石透明帯の関係
6）産卵海域とその水温
7）日齢と成熟度
3．考 察

摘 要
謝 辞
引用文献

第1章 緒 言

サンマ科（Scomberesocidae）魚類は全世界で4属4種分布しており，日本周辺に分布するサンマ *Cololabis saira* は日本沿岸から北米カリフォルニア

沿岸に至る北太平洋の亜熱帯から亜寒帯海域にかけて広く分布している（Hubbs and Wisner, 1980）。我が国ではサンマは重要な漁獲対象種とされ，おもに棒受け網による漁獲が行われているが，その漁獲量と漁獲物の体長組成は年ごとに大きく変動している（福島ら，1990）。この変動の要因を明らかにするためには，その生活史，特に年齢と成長および再生産過程の解明が最も重要な課題と言えよう。

サンマの年齢と成長の研究は，鱗，耳石等を用いて比較的古くから行われてきた。例えば，久保，武藤，(1955)，Hatanaka (1956) は鱗の輪紋の観察から体長300mmに達するまでの年齢を5歳とした。安田ら (1961) は，鱗の輪紋が年2回形成されるとして，300mmの個体の年齢を3歳とした。一方，堀田(1960)は本種の発生時期が春と秋の2回に分かれるとして，漁期中に採集される体長210～240mm，270～280mmおよび300mm台のいわゆる小型群，中型群および大型群の年齢をそれぞれ1.0，1.5そして2.0歳とした。その後，小坂 (1979) は鱗の隆起線間隔の解析から，1年以内に中型群までに成長すると結論している。このようにサンマの年齢に関する見解は，研究者によって様々であった。

こうした中で，Pannella (1971) は硬骨魚類の耳石に日周的な輪紋が形成されることを発見し，以後この輪紋をもとに魚類の日齢を推算する研究がいくつか行われている（例えば，Nishimura and Yamada, 1984；Tabeta *et al.* 1987）。サンマにおいても，耳石に微細な輪紋が発見され（西村ら，1985），Watanabe *et al.* (1988) はこの輪紋から1年以内にサンマは大型魚に達するであろうと推測し，さらに，飼育実験によってこの輪紋が1日に1本づつ形成される日周輪であることが証明された（Watanabe and Kuji, 1991）。一方，中部北太平洋において本種の耳石を電子顕微鏡で観察し耳石日周輪を計数した結果から，大型群と呼ばれる体長291mm以上にモードを持つ群は，ふ化後1.5年以上であろうと推定されている（巣山ら，1992）。そして，中部北太平洋および日本のサンマ漁業の漁場となっている西部北太平洋で採集されたサンマには，耳石透明帯が大型群のみに観察され中型群には認められない（菅間，1957，1959；堀田，1960；今井，1993a，1993b）。このようなことから，巣山ら（1992）は，両海域のサンマに成長に違いがあることに疑問を示し，西部北太平洋における耳石日周輪に基づく日齢と成長についても再検討の必要があると述べている。

一方，資源解析に重要な課題である再生産過の研究は，その大半が仔稚魚の豊度水準から行われている（例えば，小達，1962a；林，小達，1981；Watanabe and Lo，1989）。これはサンマの詳しい産卵習性に未だ研究の余地があること（福島，1981；小西，1981；庄島，1981），および産卵期の成魚がほとんど漁獲の対象になっていないため，その繁殖生態に不明な点が多いことなどによる。そのため，成魚の成熟過程の研究は，多くが生殖腺重量および卵径の変化のみから扱われてきた（久保，1954；Hatanaka，1956；小達，1956a）。一方，他の魚種においては生殖腺の組織学的な観察から，より詳細な生殖周期の研究が行われている（例えば，Yamamoto，1956）。これらの研究では，卵黄の形成開始時期など外見的変化ではつかめない質的な変化を把握できること，排卵後濾胞の有無や退行卵によって未産卵魚と経産魚を見分けることが出来るなどの利点がある。サンマにおいても卵巣卵の組織学的な観察が行われている（堀ら，1969；Sato，1981；小坂，1989，1991）が，一生の間の産卵回数および産卵後の消長など具体的な産卵特性の解明には不十分である。さらに，前述のようにサンマについては年齢がはっきりしないために，ふ化から成熟に達するまでに要する期間も不明である。

そこで，本研究では西部北太平洋におけるサンマの年齢と成長の関係を耳石日周輪の計数によって算定し，そのふ化時期を逆算した。そして，これらの結果を中部北太平洋における結果と比較し，両海域での成長様式およびふ化時期の比較を行った。また，耳石透明帯の形成時期についても耳石日周輪から推定を行い，この形成時期における成長の変化を推定するため，耳石透明帯内外の日周輪の状態および輪紋間隔の比較を行った。

この耳石透明帯は主に冬季に形成されることが知られており，これに基づく年齢査定も行われている（堀田，1960，1964）。一方，耳石透明帯にあたる部分では，日周輪が不明瞭であるために計数できないことが多いことも知られている（巣山ら，1992）。そのため，一年を通して得られた標本から透明帯が形成される時期と体長を検討し，これに基づき透明帯が形成される小型群以上についての成長を検討し，日周輪から得られた結果との比較を行った。

さらに，サンマの成熟特性を明らかにするために，一年を通して得られた雌の生殖腺を組織学的に観察した。その上で組織学的観察に基づく成熟度を設定し，各個体の質的な成熟状態を明確に表わした。そして，成熟度と体長，肥満度，卵巣重量および GSIなどとの関係を検討することによって，成熟にともなう外見的変化や産卵後の消長についても検討した。

最後に，調査を行った期間の体長組成の変化の追跡，耳石のタイプや成熟度および採集海域の季節変化，日齢と成熟度の関係など，得られた知見を総合することによって，年齢と成長，産卵海域や初回成熟の年齢，

それにともなう回遊など本種の生活史の推定を行った。

第2章　耳石日周輪に基づく日齢と成長の推定

サンマの年齢と成長に関する研究は古くから行われているが（久保，武藤，1955; Hatanaka, 1956; 堀田，1960; 松宮，田中，1974; 小坂，1979; 小坂，1991; Watanabe *et al.*, 1988; 巣山ら，1992），未だに結果の一致を見ていない。これは，本種の産卵時期がほぼ周年にわたる上にその産卵海域が広く（小達, 1956a; Watanabe and Lo, 1989），発生時期と季節的な発生水準の把握が充分とは言えないこと，またサンマ漁業が7月から12月と一年のうちでも限られた時期しか行われないためにそれ以外の時期の知見が不足していること，その結果各季節ごとの発生群と体長群との関連が不明であることが原因となっていると考えられる。

一方，硬骨魚類の耳石には微細な輪紋が日周的に形成されることが発見され（Pannella, 1971），日齢の査定が可能になってきている。サンマにおいても耳石日周輪による日齢査定技術の確立が試みられ（西村ら, 1985；Watanabe *et al.*, 1988; Watanabe and Kuji, 1991），ほぼ1年で体長300mm以上の大型魚に達すると推定されている。産卵期がほぼ周年にわたる本種においては，体長組成による成長の解析や年齢形質のみによる齢査定が困難なため，耳石日周輪に基づく日齢査定から成長様式を調べることは非常に有効であるといえる。

一方，中部北太平洋で採集したサンマの耳石輪紋を走査型電子顕微鏡で観察した巣山ら（1992）は，大型群と言われる体長 280mm以上の個体で最大 781本の輪紋を計数し，この体長に達するまで 1.5年以上かかると推定した。さらに，光学顕微鏡で観察される耳石透明帯と日周輪の計数結果の比較から，透明帯は主に冬季に形成されると考えている。そして，この透明帯は中部および西部北太平洋の両海域において，大型群には存在するが中型群以下の個体では観察されないこと（菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960; 今井, 1993a, 1993b）から，この2つの海域でサンマの成長に差があるとは考え難い。

このため，本研究では中部および西部北太平洋で採集されたサンマの耳石輪紋の観察を行い，日齢と成長の関係を求めた。この解析の結果に基づきふ化時期の推定を行い，両海域における発生時期の違いや成長様式の比較・検討を行った。

1．材料と方法

耳石日周輪の解析に用いたサンマは，中部北太平洋

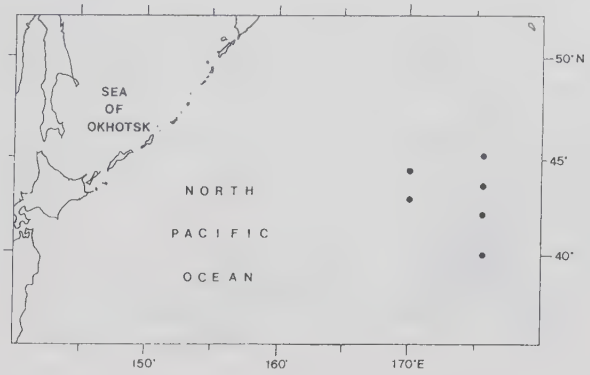


Fig. 1. Study area and sampling locations in central North Pacific in 1989

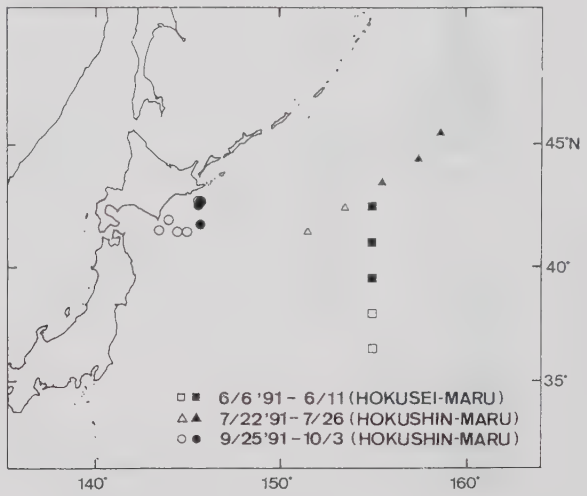


Fig. 2. Study area and sampling locations in western North Pacific in 1991

および西部北太平洋で採集された（Fig. 1, 2, Table 1）。中部北太平洋の個体は，1989年7月から8月に北海道大学練習船北星丸の第39-3次練習航海で，調査用流し網で採集されたものである。西部北太平洋の個体は，1991年6月の北星丸の第50-2次航海，同年7月に行われた北海道道立釧路水産試験場北辰丸にるサンマ北上期調査，および同年9月から10月の間のサンマ南下期調査において，調査用流し網，たも網および棒受網で採集された。

採集したサンマは，船上において個体数の計数と体長の測定を行った。体長は下顎先端から肉質部末端までの肉体長（knob length; 木村，1956a）とした。このうちの一部を耳石日周輪を観察するために，船上で冷凍保存して持ち帰った。これらの標本を実験室において解凍し，再度体長を測定してから耳石（扁平石）を取り出して，耳石輪紋の観察に供した。観察は原則として左側の耳石で行ったが，紛失，破損または奇形と判断した場合には，右側の耳石を用いて，既往の方法（西村ら, 1985; Watanabe *et al.*, 1988; 巣山ら, 1992）

Table 1. Collection records of saury samples to analyze the daily otolith growth increments

Station	Date	Location		Sampling*1 gear	No. samples
		Lat. (N)	Long. (E)		
central North Pacific in 1989					
1	Jul. 19-20	44° 30′	170° 00′	G	1
2	Jul. 20-21	43° 00′	170° 00′	G	8
3	Jul. 26-27	40° 01′	175° 30′	G	4
4	Jul. 28-29	42° 15′	175° 30′	G	4
5	Jul. 29-30	43° 45′	175° 30′	G	10
6	Jul. 30-31	45° 15′	175° 32′	G	12
				Subtotal	39
western North Pacific in 1991					
1	Jun. 8- 9	39° 30′	155° 01′	G	9
2	Jun. 9-10	41° 00′	155° 02′	G	4
3	Jun. 10-11	42° 31′	155° 00′	G	1
4	Jul. 22-23	45° 30′	158° 30′	G	5
5	Jul. 23-24	44° 30′	147° 30′	G	6
6	Jul. 24	43° 30′	155° 30′	G	2
7	Jul. 26-27	41° 30′	151° 30′	G	1
8	Sep. 25-26	42° 30′	145° 00′	G	3
9	Sep. 26	41° 47′	145° 38′	D, S	1
10	Oct. 2	42° 55′	145° 00′	D	1
11	Oct. 2	42° 30′	145° 30′	D	2
				Subtotal	35
				Total	74

*1 G; gill nets, D; dip net, S; Stick-held net.

に準じて観察用標本を作成した。すなわち，摘出した耳石を蒸留水で洗浄してから乾燥させ，長径と短径を接眼ミクロメーターで計測した。次いで，エポキシ樹脂に包埋して半日以上乾燥させ，炭素紙＃1,500および硬組織用研磨紙（9μm，3μm）を用いて研磨した。研磨は，耳石扁平面短軸方向に対して約 60° の角度で，かつ長軸に対し平行の方向に耳石核の中心まで行った。この耳石を0.1mol EDTA-2Na溶液で50秒間エッチングし，白金パラジウムを蒸着した後，走査型電子顕微鏡（日立S-2300型）で観察した。検鏡は15KVで行い，倍率1,000倍で写真を撮影した。この写真を最終倍率1,000倍で焼付け，耳石輪紋の計数と計測を行った。なお，西部北太平洋で採集した標本については，電子顕微鏡用資料の作成に先立ち，光学顕微鏡を用いて落射条件下のもとで，40倍で写真の撮影を行った。

耳石輪紋は，これまで報告されているように（西村ら，1985; Watanabe *et al.*, 1988; 巣山ら，1992），耳石核を中心として同心円状に観察された（Fig. 3-A)。輪紋は翼（rostrum）の反対側の方が明瞭であったため，この部分で計数を行った。観察された輪紋はすべて計数したが，輪紋計数に先だって各輪紋を明瞭，不明瞭および輪紋計数不能帯に分けた。このうち，輪紋が鮮明に読み取れるものを明瞭輪紋（Fig. 3-B)，輪紋が不鮮明であるが計数可能な輪紋を不明瞭輪紋（Fig. 3-C）として扱い，輪紋が計数不能な部分がまとまって出現した部分は計数不能帯（Fig. 3-D）とした。この輪紋計数不能帯では，前後10本ずつの平均輪紋幅を1本の輪紋間隔と推定して，この中の輪紋数を推定した。なお，一部の個体では EDTA により深くエッチングされた欠刻状の輪紋（Fig. 3-D）がみられることがあったが，この輪紋も輪紋一本として扱った。そして，総輪紋数は明瞭および不明瞭な輪紋数に，計数不能帯の推定輪紋数を加えた数とした。しかし，総輪紋数のうちほとんどの輪紋が，不明瞭または計数不能である個体も多数現われた。これらの個体は，計数値の信頼性が低いと考えられたため解析の対象から除外し，日齢解析には明瞭な輪紋数が総輪紋数に対して過半数を占める個体のみを用いた。その結果，北西太平洋で採集された 142個体のうち39個体，西部北太平洋で採集された 208個体のうち35個体で輪紋の計数が可能であった。本研究では，これらの輪紋を日周輪とみなし，以下の解析を行った。

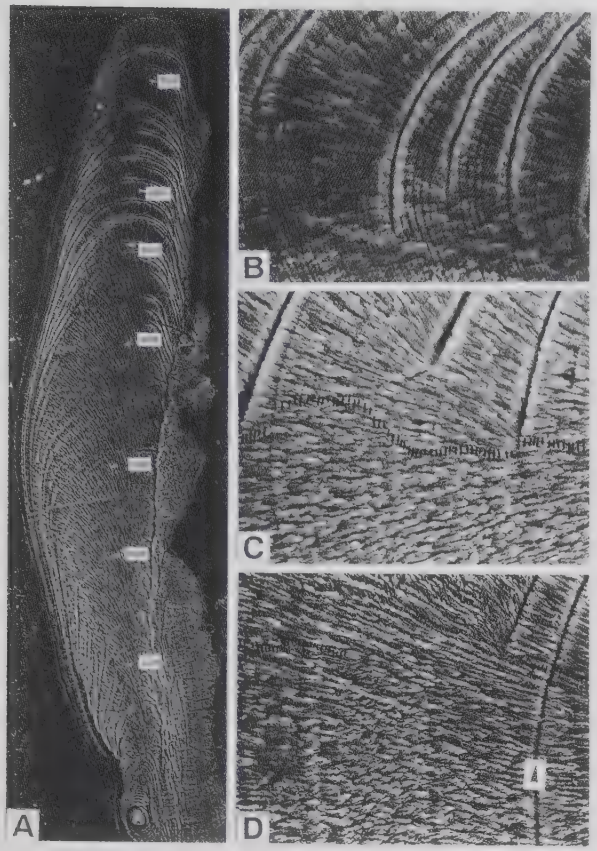


Fig. 3. Scanning electron micrographs of an otolith section of Pacific saury

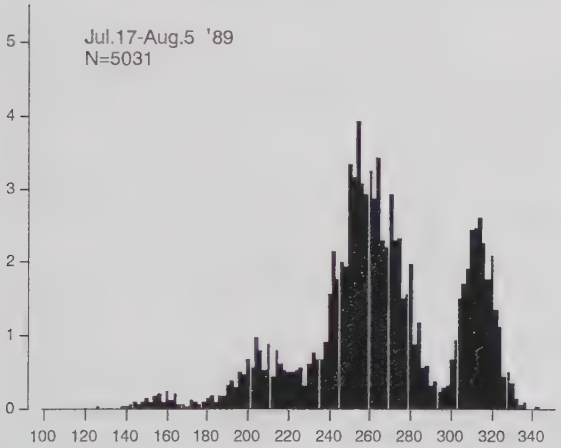


Fig. 4. Size composition of Pacific saury collected from central North Pacific druing from July to August in 1989

2．結　果

1）体長組成

1989年に中部北太平洋で採集された群の体長組成には，210mm，260mmおよび315mmを中心とする３つの顕著なモードがみられた（Fig. 4）。一方，1991年の西部北太平洋の群では，６月に210mmおよび300mmを中心としたモードがみられたが，７月および９～10月では 300mmを中心とするモードのみの群が採集された（Fig. 5）。

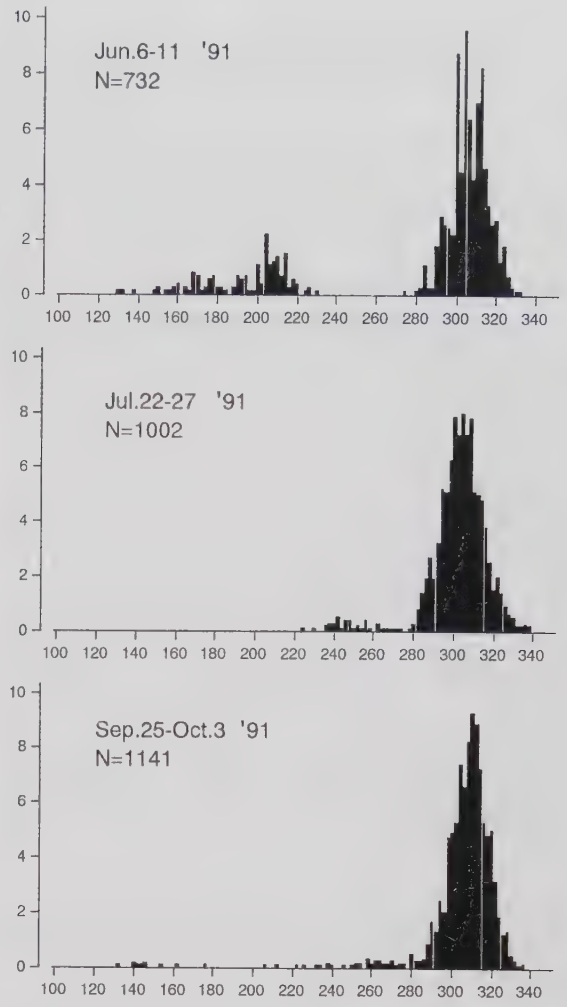


Fig. 5. Size composition of Pacific saury collected from western North Pacific during from June to October in 1991

2）体長と輪紋数の関係（Table 2）

中部北太平洋において輪紋の計数が可能であった39個体の中で，最も輪紋数が多かったのは体長314mmの個体の781本であり，輪紋数の最も少なかったのは体長245mmの297本であった。また，これらの標本のうち体長が最大の個体は329mmでその輪紋数は677本であったのに対し，最小の個体は243mmで319本であった。

一方，西部北太平洋において輪紋の計数が可能であった35個体の中で，最も輪紋数が多かったのは体長319mmの個体の689本であり，輪紋数の最も少なかったのは体長200mmの209本であった。また，これらの２個体は輪紋が計数できた個体の中で，体長がそれぞれ最大，最小の個体であった。

3）ふ化輪とふ化輪内の輪紋数

耳石日周輪の形成が始まる時期は，魚種によって異なっている。サンマにおいては，飼育実験下においてふ化当日の仔魚に，光学顕微鏡で4～5本の輪紋が観察されること，これらの輪紋の外側に明瞭な輪紋が認められることが報告されている（Watanabe and Kuji, 1991）。そこで，走査型電子顕微鏡を用いて行った今回の研究でも，この明瞭な輪紋が観察されるか，存在する場合はふ化輪の内側の輪紋数に違いがないかを検討した。その結果，中部北太平洋では39個体のうち18個体で核付近に明瞭な輪紋が観察され（Fig. 6），耳石核中心からこの輪紋まで6.1（S.D.=1.5：以下同様）本の輪紋が観察され，耳石核中心からの距離は28.1（5.1）μmであった（Table 2）。一方，西部北太平洋では35個体のうち21個体でこの輪紋が観察され，その内側には5.6（1.4）本の輪紋が観察され，耳石核中心からの距離は25.8（3.9）μmであった。この本数は両海域の標本で有意な差はなく（t-test, $P>0.05$），以下の解析ではこれらの輪紋をふ化輪とみなし，日齢は総輪紋数からふ化輪までの輪紋数を差し引いた値とした。ふ化輪が観察されなかった個体では，ふ化輪までの輪紋数をその平均値（6）とした。

4）日齢と体長の関係

以上の結果に基づき，日齢と体長の関係を求め，両海域での日齢と体長の関係を比較した（Fig. 7）。

中部北太平洋におけるサンマの日齢と体長（範囲: 243～329mm）の関係式は，

$L=0.19D+196.8$ ①式

$r^2=0.806$ $N=39$

L＝肉体長，D＝日齢

で表された。

Fig. 6. Scanning electron microscope (SEM) photographs of Pacific saury otoliths (292mm). Arrow shows distinct incremens considered to be the hatch ring.

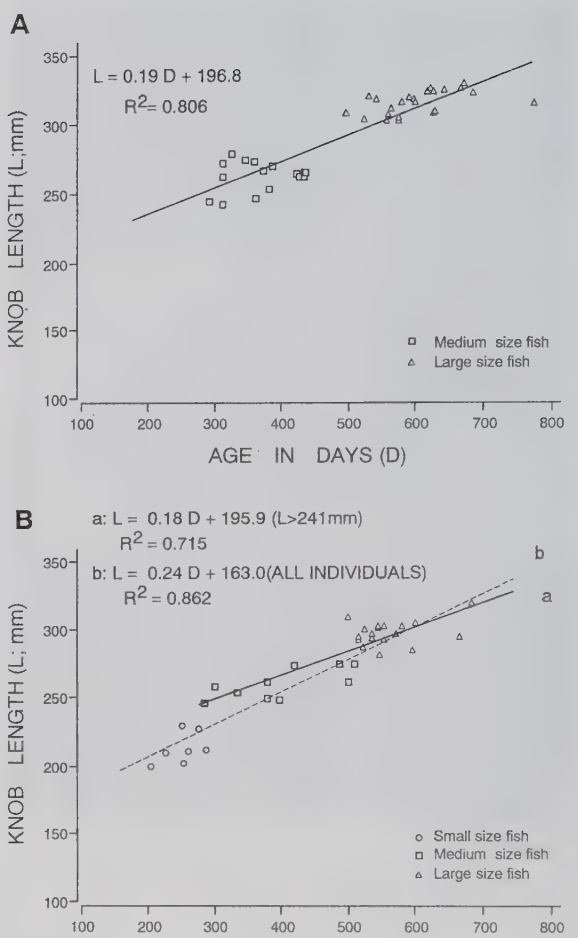


Fig. 7. Relationship between age in days and knob length of the Pacific saury. **A**, central North Pacific; **B**, western North Pacific.

一方，西部北太平洋における日齢と体長（範囲：200～319mm）の関係式は

$L=0.24D+163.0$ ②式

$r^2=0.862$ $N=35$

となった。

さらに，中部北太平洋と西部北太平洋での成長の比較を行うために，両海域で採集された中型群以上について成長を比較した。このために，西部北太平洋の個体の中型群以降の日齢と体長（範囲：246～319mm）の関係を求めたところ，その関係式は

$L=0.18D+195.9$ ③式

$r^2=0.175$ $N=28$

で表された。

両海域での成長を比較するため，①式と③式を共分散分析を用いて傾きと高さの検定を行った。その結果，0.1%水準で両直線には有意差がなかった。したがって，中部北太平洋と西部北太平洋においては，中型群以降の成長に顕著な差はないものと考えられた。

Table 2. The number of otolith growth increments of the Pacific saury collected from central North Pacific in 1989

No.	Sampling date	Knob length (mm)	Location		The number of otolith growth incremennts				Hatch ring		Estimated age in days
			Lat.(N)	Long.(E)	Total	Clear	Unclear	Estimated	Inside*	Distance from center (in μm)	
1	Jul. 31	243	45° 15′	175° 32′	319	272	47	0	7	24. 9	312
2	Jul. 30	245	43° 45′	175° 30′	297	234	63	0	—	(29. 4)	291
3	Jul. 31	247	45° 15′	175° 32′	366	284	82	0	—	(33. 0)	360
4	Jul. 30	254	43° 45′	175° 30′	387	339	48	0	—	(21. 0)	381
5	Jul. 21	262	43° 00′	I70° 00′	317	256	61	0	—	(35. 6)	311
6	Jul. 31	262	45° 15′	175° 32′	430	406	24	0	4	25. 7	426
7	Jul. 30	266	43° 45′	175° 30′	428	365	63	0	—	(28. 4)	422
8	Jul. 30	266	43° 45′	175° 30′	441	332	109	0	8	33. 1	433
9	Jul. 30	267	43° 45′	175° 30′	444	427	17	0	9	25. 9	435
10	Jul. 31	270	45° 15′	175° 32′	377	334	43	0	5	19. 6	372
11	Jul. 30	272	43° 45′	175° 30′	392	278	70	44	—	(35. 2)	386
12	Jul. 29	273	42° 15′	175° 30′	319	244	75	0	8	34. 6	311
13	Jul. 31	275	45° 15′	175° 32′	367	294	73	0	8	39. 5	359
14	Jul. 29	279	42° 15′	175° 30′	352	284	68	0	6	27. 6	346
15	Jul. 30	302	43° 45′	I75° 30′	331	253	78	0	—	(22. 1)	325
16	Jul. 21	302	43° 00′	170° 00′	565	376	50	139	8	34. 4	557
17	Jul. 31	302	45° 15′	175° 32′	584	520	64	0	10	24. 8	574
18	Jul. 31	303	45° 15′	175° 32′	528	353	70	105	—	(20. 9)	522
19	Jul. 21	304	43° 00′	I70° 00′	580	406	87	87	—	(29. 9)	574
20	Jul. 31	307	45° 15′	175° 32′	565	475	22	68	7	29. 6	558
21	Jul. 29	308	42° 15′	I75° 30′	502	366	80	56	—	(24. 2)	496
22	Jul. 31	308	45° 15′	175° 32′	631	474	66	91	—	(29. 4)	625
23	Jul. 21	309	43° 00′	170° 00′	640	448	102	90	5	33. 0	635
24	Jul. 21	311	43° 00′	170° 00′	570	335	60	175	—	(24. 6)	564
25	Jul. 27	314	40° 01′	I75° 30′	781	665	116	0	—	(22. 9)	775
26	Jul. 20	315	44° 30′	170° 00′	584	385	79	120	—	(32. 1)	578
27	Jul. 29	315	42° 15′	I75° 30′	606	423	72	111	6	22. 1	600
28	Jul. 31	318	45° 15′	I75° 32′	546	349	73	142	—	(17. 0)	540
29	Jul. 21	318	43° 00′	I70° 00′	604	391	91	122	—	(30. 6)	598
30	Jul. 31	319	45° 15′	175° 32′	595	470	47	78	6	22. 4	589
31	Jul. 30	320	43° 45′	175° 30′	536	387	32	117	—	(29. 4)	530
32	Jul. 27	322	40° 01′	175° 30′	690	443	164	83	5	19. 1	685
33	Jul. 31	323	45° 15′	I75° 32′	624	411	126	87	7	29. 3	617
34	Jul. 21	323	43° 00′	I70° 00′	632	477	112	43	—	(18. 6)	626
35	Jul. 30	324	43° 45′	175° 30′	647	498	88	61	—	(24. 9)	64I
36	Jul. 27	325	40° 01′	175° 30′	628	465	163	0	—	(23. 9)	622
37	Jul. 27	325	40° 01′	175° 30′	672	358	70	244	6	31. 0	666
38	Jul. 21	329	43° 00′	170° 00′	677	553	74	74	—	(21. 1)	671

* The number of increments inside of the hatch ring

Table 2. (continued)

Western North Pacific in 1991

No.	Sampling date	Knob length (mm)	Location		The number of otolith growth incremennts				Hatch ring		Estimated age in days
			Lat.(N)	Long.(E)	Total	Clear	Unclear	Estimated	Inside*	Distance from center (in μm)	
1	Jun. 8	200	39° 30′	155° 01′	209	184	25	0	—	(34. 3)	203
2	Jun. 8	202	39° 30′	155° 01′	258	209	49	0	5	24. 4	253
3	Jun. 8	209	39° 30′	155° 01′	232	160	72	0	5	27. 5	227
4	Sep. 26	210	42° 30′	145° 00′	265	197	68	0	—	(34. 9)	259
5	Jun. 8	212	39° 30′	155° 01′	292	241	58	0	5	22. 6	287
6	Jun. 23	227	45° 30′	158° 30′	280	207	73	0	5	24. 1	275
7	Jul. 23	229	45° 30′	158° 30′	256	226	30	0	—	(33.0)	250
8	Jul. 23	246	45° 30′	158° 30′	291	247	44	0	6	28. 9	285
9	Oct. 2	248	42° 45′	145° 30′	403	258	145	0	5	22. 8	398
10	Jul. 23	249	45° 30′	158° 30′	385	333	52	0	6	23. 7	379
11	Jul. 24	253	43° 30′	155° 30′	341	263	78	0	7	34. 4	334
12	Jul. 23	258	45° 30′	158° 30′	306	180	116	0	—	(23. 1)	300
13	Sep. 26	261	42° 30′	145° 00′	385	440	60	0	—	(23. 2)	379
14	Oct. 2	261	42° 55′	145° 00′	503	325	63	0	3	24. 5	500
15	Oct. 2	273	42° 45′	145° 30′	426	330	96	0	—	(22. 9)	420
16	Jul. 23	274	45° 30′	158° 38′	514	350	81	83	5	24. 7	509
17	Jun. 10	275	41° 00′	155° 02′	496	384	112	0	10	27. 4	486
18	Jul. 23	281	45° 30′	158° 30′	553	321	85	144	5	37. 0	548
19	Jul. 23	284	45° 30′	158° 38′	602	453	79	70	—	(33. 8)	596
20	Jul. 23	287	45° 30′	158° 38′	528	431	32	92	—	(29. 9)	522
21	Jul. 23	292	45° 30′	158° 38′	520	447	60	53	5	23. 4	515
22	Jun. 11	292	42° 31′	155° 00′	560	362	67	91	—	(34. 1)	554
23	Jul. 23	293	45° 30′	158° 38′	541	374	79	88	—	(40. 2)	535
24	lun. 10	294	41° 00′	155° 02′	524	374	76	74	8	24. 3	516
25	Jun. 10	294	41° 00′	155° 02′	672	417	60	195	5	18. 1	667
26	Jun. 10	297	41° 00′	155° 02′	541	362	35	144	—	(28. 6)	535
27	Ini. 24	297	43° 30′	155° 30′	576	339	68	171	6	18. 1	570
28	Jun. 8	300	39° 30′	155° 01′	531	312	76	143	6	27. 9	525
29	Jul. 27	301	41° 30′	151° 30′	550	389	61	100	5	17.4	545
30	Sep. 26	302	42° 30′	145° 00′	551	466	40	48	—	(21. 2)	545
31	Jun. 8	302	39° 30′	155° 01′	560	332	67	187	—	(25. 1)	554
32	Jun. 8	302	39° 30′	I55° 01′	586	399	78	74	5	21. 0	581
33	Jun. 8	304	39° 30′	155° 01′	606	478	61	64	5	20. 9	501
34	Jun. 8	309	39° 30′	155° 01′	507	283	56	168	—	(29. 3)	501
35	Sep. 26	319	41° 47′	145° 38′	689	38S	71	230	5	17. 7	684

* The number of increments inside of the hatch ring

そこで，今回解析に用いた74個体すべてについて体長と日齢の関係を求めたところ，

$L = 0.22D + 175.1$　　④式

$r^2 = 0.817$　$N = 74$

となった。

②式および④式の傾き0.22および0.24から，小型群から大型群までの日間成長率は0.22～0.24mm／日と見積られた。そして，中型群から大型群の日齢と体長の関係を求めた①式および③式の傾きから，この間の日間成長は0.17～0.18mm／日と推定された。

5）耳石日周輪に基づくふ化時期の推定

前項で示した74個体の日齢査定の結果に基づき，採集日から日齢を差し引くことにより体長群ごとのふ化時期を逆算した。

中部北太平洋（N=39）において，大型群（体長281mm以上）は12月に5個体，1月および11月に4個体，2月および9月に3個体がふ化しており，全体の91%にあたる22個体が9月から翌年3月にかけてふ化していた。一方，中型群（体長241～280mm）16個体では，5月および9月にそれぞれ4個体，7月および8月に3個体づつふ化したと推定され，そのふ化時期は，5月から10月にわたっていた（Fig. 8-A)。

西部北太平洋（N=35）においては，大型群は12月に6個体，1月および2月にそれぞれ4個体ふ化していた。このうち全体94%にあたる18個体が，10月から翌年3月にかけてふ化していた。一方，中型群10個体では，8月に3個体，2月および9月にそれぞれ2個体がふ化していた。このうち2月にふ化した中型群は，体長が274mmおよび275mmで比較的大型の個体であった。小型群（体長200～240mm）の推定ふ化月は，10月および11月にそれぞれ2個体，1月，8月および9月にそれぞれ1個体であった（Fig. 8-B)。

中部および西部北太平洋あわせた結果（Fig. 9）では，大型群は12月に11個体，1月に8個体，そして2月に7個体であった。中型群では，8月および9月に6個体づつ，5月に5個体であった。

ふ化時期はほぼ周年にわたっていたが，大型群では11月から2月，中型群は5月から9月，小型群は10月，11月を中心とした時期にふ化した個体であると推定された。

6）耳石日周輪に基づく初期成長の比較

今回得られた西部北太平洋における成長に関する結果を Watanabe and Kuji (1991) による飼育実験の成長と比較するため，耳石輪紋から初期成長の比較を行った（Fig. 10)。この比較には，計数を行った35個

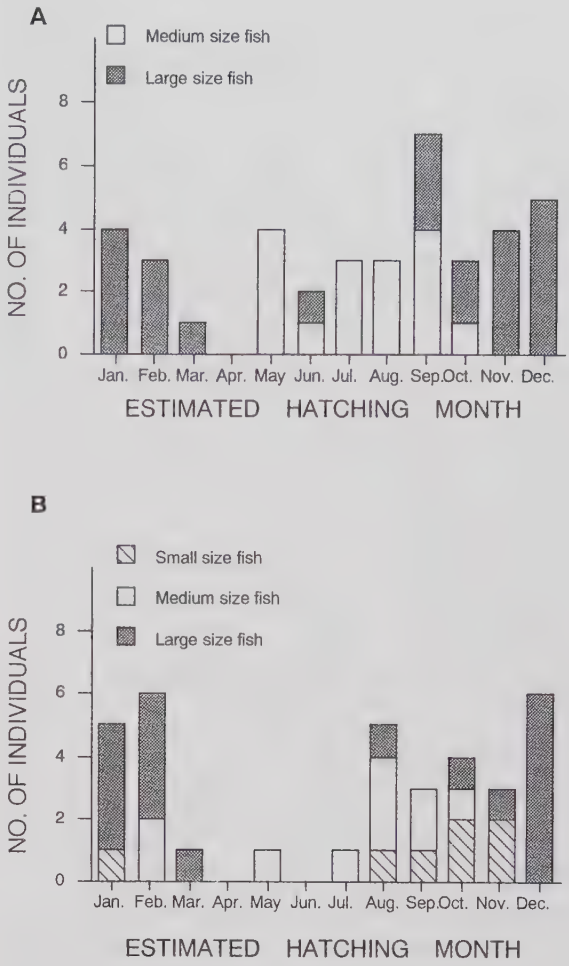


Fig. 8. Estimated month of hatching based on the number of otolith increments. **A**, central North Pacific; **B**, western North Pacific.

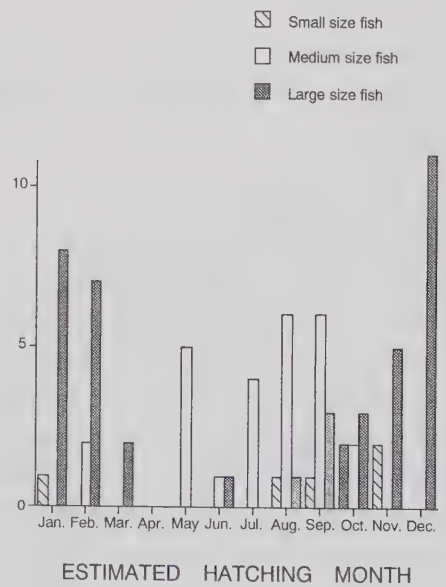


Fig. 9. Estimated month of hatching based on the number of otolith increments collected from central and western North Pacific

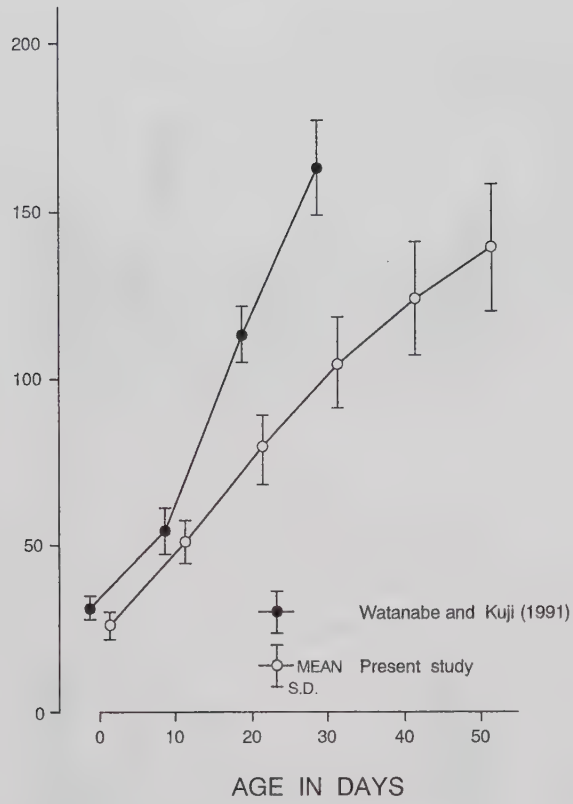


Fig. 10. Relationship between age in days and otolith radius

体のうち，前述のふ化輪と推定された明瞭な輪紋が観察された21個体のみを用いた。その結果，本研究ではふ化輪から30本目までの距離は，104.8±13.8μm，50本目では138.9±19.0μmであった。

この結果をWatanabe and Kuji（1991）の結果と比較すると，飼育実験では30日で耳石半径が 162.8μmに達しているのに対し，今回の結果では104.8μmであり，飼育実験よりもおよそ35%成長が悪いという結果が得られた。

7）耳石透明帯と日周輪の関係

本章で耳石日周輪に観察に用いた北西太平洋で採集された35個体について，耳石透明帯と耳石日周輪の関係を比較するため，双方の関係を検討した。観察を行った35個体のうち，体長274mm以上の全個体（20個体）で透明帯が1本観察された。そこで，これらの個体について耳石半径（翼(rostrum)の180°反対側における耳石核から縁辺部を結ぶ直線）上で透明帯の位置および幅を計測して電顕写真上の最大距離を耳石半径に換算して比較したところ，1個体を除いて透明帯にあたる部分は輪紋計数不能帯の位置とほぼ一致した。そこで，透明帯と輪紋計数不能帯がともに出現した19個体について，この輪紋不明帯を透明帯とみなして，形成

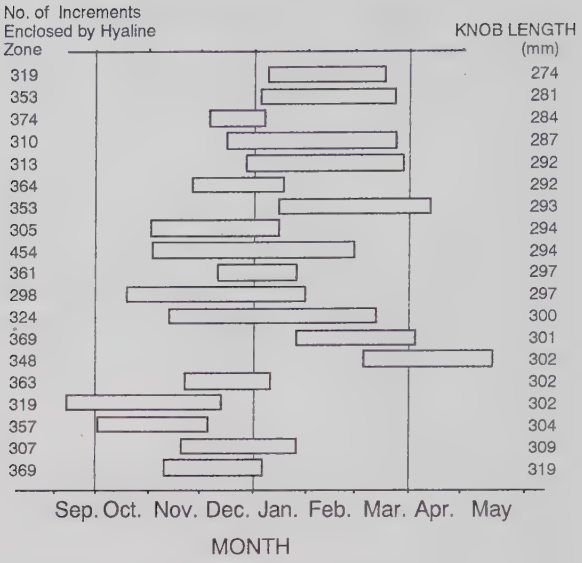


Fig. 11. Estimated formation period of the hyaline zones in otoliths

時期を輪紋数から逆算した。なお，輪紋不明帯が2箇所以上現れた個体については双方の位置を比較し，透明帯に最も近い輪紋計数不能帯を透明帯とみなした。その結果，透明帯の形成時期は11月中旬から3月中旬を中心に9月から翌年5月頃にわたっていると推定された（Fig. 11）。

さらに，透明帯の内側の日周輪を計数することによって，透明帯の形成が始まる日齢を推定した。計数の結果，透明帯の内側には298～345本の輪紋が計数された。この輪紋数を，先に得られた西部北太平洋における日齢と体長の関係式に当てはめると，透明帯形成時の体長は233～270mmと推定された。

そして，透明帯が形成されると推定された冬季における耳石の成長を検討するために，透明帯が観察された個体のうち輪紋計数不能帯が現われなかった中部北太平洋の体長302mmと314mmの2個体について，月ごとの耳石成長を計測した。これには，各月の日数分の輪紋間隔を電顕写真上で計測し，耳石半径に換算した上で30日あたりの成長した間隔を求めた（Fig. 12）。この結果，302mmの個体は11月から翌年3月，314mmの個体では9月から翌年1月にかけて成長が低下しており，透明帯が形成される時期とほぼ一致していた。

本種において，耳石長－体長の関係は，高い相関を示すことが知られている（Watanabe *et al.*, 1988）。そのため，耳石日周輪の間隔の変化は，体成長の良否を示していると考えられる。そこで，この成長の低下率を求めるために，輪紋の間隔が最も広かった月の平均輪紋間隔（302mmの個体では5月，314mmでは4月）と最も狭かった月（302mmの個体では1月，314mmでは12月）における，一日当りの平均輪紋幅を求

めた。この値から以下の式によって成長の低下率を求めた。

低下率（%）＝（WH－WL）×102／WH
（WH：輪紋間隔が最も広かった月における一日当りの平均輪紋幅，WL：輪紋間隔が最も狭かった月における一日当りの平均輪紋幅）

この結果，314mmの個体の低下率は48.9%であったのに対し，302mmの個体では35.3%であった。したがって，冬季における成長の低下率には10%以上の違いがあり，個体差が大きいと考えられた。

以上の結果から，大型群のみで観察される透明帯はおもに冬季に形成され，この時期には耳石の成長が低下しているために日周輪が不明瞭になっていると考えられた。

3．考　　察

今回得られた結果をまとめると，小型群と大型群はいずれも秋から冬に生まれたものであり，両者の年齢差は1歳であると推定できた。一方，中型群は春から夏に生まれており，明らかに小型群および大型群とはふ化時期が異なっていた。したがって，終漁期である12月頃に漁獲されるサンマは，小型群で1歳，中型群で1.5歳，大型群で2歳と考えられた。なお，本研究ではこれら各体長群をこれまでに行われた研究に準じて，小型群を体長200～240mm，中型群を241～280mm，そして大型群を281mm以上と定義した。しかし，西部北太平洋で採集された体長274および275mmの2個体は，耳石に透明帯が観察されたこと，体長組成のモードおよび日齢が509および486と見積られていることから，大型群に含まれるべき個体のうち成長が悪かったものと推定された。

サンマの年齢と成長に関する研究は，これまでに数多く行われてきている。そして，その論点は寿命が何年であるか，主要な発生時期がいつであり，それが年に何回あるのかということが重要な焦点となってきた。久保，武藤（1955）やHatanaka（1956）が行った鱗による年齢査定では，大型群の年齢を4歳としている。しかし，小達（1956b, 1962b），菅間（1957, 1959），相沢（1967）などによって，中型群と大型群では耳石，脊椎骨，鰭条数などに差があることが知られるようになり，これらは発生時期が異なることが示唆されるようになってきた。深滝（1959）は日本海において一年に2回の産卵期があることを報告し，堀田（1960）は大型群と中型群はそれぞれ別の時期に発生した群で産卵期は晩秋から冬季および初春から初夏の年2回であり，大型群は2歳，中型群は1.5歳であると述べている。この中で示された成長曲線によれば，半年で体長20～50mm，1年で150～200mm，1.5年で230～250mm，2年で300mm程度に成長するとされている。松宮，田中（1974）は産卵期を1年に2回とした上で体長組成の解析を行い，0.5，1.0，1.5および2.0歳での体長をそれぞれ182，223，266および338mmとし，ふ化後半年間の堀田の見積が低すぎると指摘している。一方，小坂（1979）は鱗の隆起線の間隔の変化から，ふ化後1年以内に中型魚に達し，大型魚は1.5歳未満であるとしている。さらに，本研究と同じく耳石日周輪の計数から日齢査定を行ったWatanabe *et al.*（1988）は，1年以内に大型魚に達すると述べている。そして，Watanabe and Lo（1989）は本種の産卵期は冬季が主産卵期であり，秋が前期産卵期，春が後期産卵期とする見解を示した。福島ら（1990）はこれら2つの報告から，漁期中の大型魚は前年の秋に，中型魚は冬季にそして小型魚は春季にふ化したものと推論している。

以上のように，サンマの寿命，成長および発生時期については，研究者によって異なる見解が示されてきた。そこで，本研究と既往の研究の知見の比較を，小型群と呼ばれる体長200mm程度に達するまでの成長の比較，その後の中型群から大型群への成長と加齢様式および季節的発生時期とその盛期の3つの課題について，それぞれ検討した。

最初に，小型群に達するまでの成長様式に関して比較・検討した。堀田（1960）ではふ化後半年までの成長を20～50mmとしており，その後約半年で150～200mmに達すると報告している。このふ化後半年間の成長は，ふ化仔魚の1ヵ月にわたる飼育実験と稚魚ネットの採集標本の体長組成の時間的な推移に基づいている。一方，Watanabe and Kuji（1991）による飼育実験では，ふ化後30日で30mm以上に達していることから，この間の堀田（1960）の見積は低すぎることになる。また，産卵期が長期にわたる本種では，稚魚ネットによって経時的に得られた標本が成長を反映しているかについては疑問が残る。一方，松宮，田中（1974）は，ふ化後半年で182mm，Watanabe *et al.*（1988）は200mm程度と報告しており，本研究でも約半年で200mm前後と推定された。これらの知見には大きな違いはみられず，ふ化後半年に体長200mm程度に成長するという試算はほぼ妥当であろう考えられる。

なお，本研究で，耳石日周輪の初期の輪紋の幅を比較したところ，初期成長はWatanabe and Kuji（1991）による飼育実験の成長の値より約35%低い値が得られた。この原因として飼育実験と天然での生息水温の条

件が異なっていたためと考えられる。つまり，天然の仔魚の場合は主に15～21℃で採集されているが（小達, 1956a, 1962a; 林，小達, 1981），この飼育実験では18.5～24.1℃で行われている。このため，飼育下での成長が天然条件より良好であった可能性が考えられた。

次に，ふ化後半年以降の成長について，本研究と既往の知見を比較・検討する。本研究では体長 200～240 mmの小型魚が翌年大型魚となる可能性を示したが，この推定は，堀田（1960）の結果とほぼ一致する。そして，小型魚と体長241～280mmの中型魚に区分されるグループはほぼ半年の年齢差があると推定された。松宮，田中（1974）の結果では満1年で体長223mmの小型魚に達するとしているため，小型群が翌年大型群に達するとした点では一致するものの，その年齢には約半年分のずれが生じている。また，本研究と同様に耳石日周輪から成長を推定したWatanabe *et al.*（1988）のふ化後半年以降の結果と比較すると，本研究では小型群から大型群に達するまでの期間をほぼ1年と推定したのに対し，Watanabe *et al.*（1988）では約半年と見積もっている。このため，本研究ではサンマの寿命は2年以上であるとみなされるのに対し，Watanabe *et al.*（1988）では，1年程度であろうとしている。この2つの研究では同様の解析手法を用いているにもかかわらず異なった結果が出ていることは，サンマの資源研究において極めて重要な見解の相違である。

そこで，次に耳石日周輪に基づく中型群以降の成長解析の上での問題点として，輪紋が不明な耳石透明帯の出現をどのように解釈するかが挙げられる。この透明帯の部分は日周輪が不明瞭なことが多く，明瞭な個体においても輪紋間隔が狭くなっている。この透明帯が形成が開始され始めたときの日齢は300～450，体長230～270mm程度であると推定された。すなわち，透明帯が形成される時期すなわち秋季から春季にかけて，小型群から大型群に達する間に成長の停滞が起こっていることが考えられる。さらに，日本近海で漁獲されるサンマでは，10月以降大型群および中型群で生殖腺重量の増加が観察されることが知られている（久保, 1954; Hatanaka, 1956; 小達, 1956a; 堀田, 1960; 三島ら, 1981）。したがって，中型群以降の成長の解析には成熟が生殖に及ぼす影響を考慮する必要があろう。したがって，本研究において示されたように，小型魚に達した後に成長停滞が起こること，その時期に透明帯が形成されることを考えあわせると，Watanabe *et al.*（1988）による大型魚に達するまで1年とした結果は説明ができない。

Watanabe *et al.*（1988）との結果の相違にはこの透明帯中の輪紋の計数方法の差異が関係していることも考えられる。しかし，本研究における輪紋計数不能帯の中の輪紋数は48～244本と見積もられているため，この輪紋計数不能帯の中の本数だけでは，半年すなわち180本以上のWatanabe *et al.*（1988）との差を完全に説明することは不可能である。

本研究では，中型群の年齢が1歳以上であると推定されたが，耳石に透明帯は観察されなかった。しかし，堀田（1960）は中型群においても透明帯が観察されることを報告している。今回の結果では，中型群の耳石は中心付近が透明に観察されるのみで，はっきりした透明帯は観察されなかった。耳石の透明帯の形成については，主に冬季に形成されることが，周年にわたる耳石縁辺部の観察から報告されており，本研究でも同様な結果が得られた。しかし，その形成の要因については報告がなく，生息水温との関連，餌料環境，成熟にともなう成長率の低下などとあわせて詳細に検討する必要があろう。

最後に，サンマのふ化時期に関する本研究の結果と既往の知見の比較検討する。これまでの報告では，堀田（1960），松宮，田中（1974）が春季から夏季および秋季から冬季の年2回の産卵を想定しているのに対し，福島ら（1990）は秋季，冬季および春季の年3回を産卵期としている。今回の結果では大型群と小型群のふ化時期が重なり，中部北太平洋の群では体長モードも分離していたことから，年2回と考えた方が妥当と思える。しかし，本研究の中では産卵水準が低いと考えられた夏季にも多くの個体がふ化したと推定されること，そして前述のように耳石日周輪の計数結果には誤差を含む可能性が示されているため，今回の結果からのみでふ化時期を決めるのは危険であろう。

サンマにおける耳石日周輪に基づく日齢査定では，特に小型群以降の成長に大きな課題を残していると思われた。すなわち，Watanabe and Kuji（1991）によって証明された耳石日周輪の形成はふ化後30日までであり，その後も日周輪の形成が形成されるかは証明されていない。特に，小型群以降に成長停滞が起こるため，日周輪が非常に密または不明瞭になり，耳石日周輪が計数できる個体が全体の17～27%程度と非常に低いことなどである。これまでに，飼育実験で耳石輪紋の日周性を検討した結果では，すべての魚種でその日周的な形成が証明されている（麦谷，1988）。しかし，飼育実験下で日周性が証明されたことと，野外で採集された全ての個体においてその日齢を正確に把握できることとは別の問題であろう。そのため，サンマにおいても中型群以降の成長は，成熟，回遊とそれにともなう水温，餌生物の変化を考慮した上で，今回の結果を検証してゆく必要があろう。

第3章　耳石透明帯に基づく加齢の推定

前章において，サンマの日齢を耳石日周輪を計数することによって推定した。しかし，電子顕微鏡による耳石日周輪の計数は観察を行うまでに手間がかかり，大量の標本の解析には適さない。さらに，この方法では電子顕微鏡標本を作成して観察を行っても，計数不能な輪紋が多いために日齢の計数が出来ない個体も多数出現する。これらの日齢査定が出来なかった個体についても，日齢査定ができた個体と年齢・成長が同じであるか，検証を行う必要がある。一方，サンマの耳石には透明帯が観察され（菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960, 1964; 今井, 1993a, 1993b），この透明帯が冬季を中心に小型群に達した以降に形成されたものであるものと，前章において推定された。透明帯が小型群に達してから一年に一回形成されるのであれば，前章で輪紋の計数不能帯が現れるために，その齢査定に関して検討を要するとされた小型群以降の成長を推定することができる。そこで，本章では周年を通して採集されたサンマの標本の耳石透明帯を観察することによって，透明帯の形成時期とその時の体長を明らかにし，齢査定としての有効性を調べた。さらに，透明帯の形成要因を推定するため，採集点における表面水温と耳石透明帯が形成されているか否かを比較・検討した。そして，これらの観察と解析から，透明帯が形成されると考えられている小型群以降の成長について検討を行った。

1．材料と方法

本章で用いた材料は，1991年2月から1992年12月にかけて，西部北太平洋の北緯32°50′～45°50′，東経140°50′～160°00′の61の採集点において，調査用流し網，棒受け網，たも網および定置網で採集した1,106個体である（Table 3)。採集した個体は採集後に凍結保存し，実験室に持ち帰ってから解凍して，体長および体重を測定し，耳石の摘出を行った。摘出した耳石は，蒸留水で洗浄し室温で乾燥させ，右側の耳石をスライドグラス上に滴下した標本用封入剤（MGK-S）に封入し，耳石偏平面が観察できるようにした。この封入剤が乾燥してから光学顕微鏡を用いて，落射光または透過光条件下で，40倍または100倍で観察した。また，耳石半径の計測には，接眼マイクロメーターを使用した。さらに，一部の個体については左側の耳石の薄片標本を作成してから観察を行った。薄片標本の作成は，スライドグラス上にエポキシ樹脂を一滴落とし，この中に耳石を包埋してから半日以上乾燥させ，炭素紙＃1500および硬組織用研磨紙（9μm，3μm）を用いて研磨した。研磨は耳石扁平面短軸方向に対して垂直に，かつ長軸に対し平行の方向に耳石核の中心付近まで行った。この後，スライドグラスから樹脂を剥し，これまで研磨を行った面を再度スライドグラスに張り付け，炭素紙および硬組織用研磨紙を用いて耳石核中心まで研磨を行った。この薄片標本を光学顕微鏡を用いて40～100倍で落射光または透過光条件下で観察を行った。

2．結　果

1）耳石のタイプ区分

耳石の透明帯のパターンにはいくつかのタイプがあることは，これまでにいくつか報告がある。（菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960; 今井, 1993a, 1993b)。今回，落射光条件下で観察した結果では，耳石の透明帯のパターンは以下の5タイプに区分された。

（1）透明帯なしⅠタイプ

耳石全体が白色に観察された個体（Fig. 12-A, B)。耳石中心部付近が透明な場合があるが，このタイプに含めた（Fig. 12-C)。このうち，耳石の最縁辺部が透明な個体をⅠ'タイプ（Fig. 12-B, C）とした。

（2）縁辺半透明Ⅱタイプ

耳石縁辺部が広く半透明であるが，この中に明確な透明帯が認められない（Fig. 12-D)。

（3）透明帯一本タイプⅢタイプ

耳石縁辺部が広く半透明であり，この中に1本の透明帯が認められる（Fig. 12-E)。Ⅰタイプと同様に，耳石の最縁辺部が透明な個体をⅢ'タイプとした。

（4）透明帯2本タイプⅣタイプ

耳石縁辺部が広く半透明であり，この中に2本の透明帯が認められる（Fig. 12-F)。やはり，耳石の最縁辺部が透明な個体Ⅳ'タイプとした。

（5）その他　以上の4タイプには含まれないタイプ。

これには主に2つのタイプがあり，多数の輪紋が観察されるタイプ（Fig. 12-G）と，耳石の一部または全部が非常に薄くなっており透明帯とは明らかに異なる透明な部分を形成しているタイプ(Fig. 12-H)があった。

全個体に占める各タイプの個体数は，ⅠおよびⅠ'タイプ 210個体（19.0%），Ⅱタイプ 149個体（13.5%），ⅢおよびⅢ'タイプ 618個体（56.0%），ⅣおよびⅣ'タイプ74個体（6.7%），その他のタイプが53個体（5.8%）であった。

次に，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳタイプについて，各3個体の耳石の薄片標本を作成し，落射光および透過光条件下で観察した。

Ⅰ'タイプ（Fig. 13-A, B）では，落射光下で白く不

Table 3. Collection records of samples to analyze the otolith hyaline zone

Sampling date	Location		SST	Sampling*	No. of	Knob length in mm
	Lat.(N)	Long.(E)	(℃)	gear	individuals	(range)
Feb. 14, '91	34° 00′	143° 30′	16. 0	D	10	253 – 301
Feb. 15, '91	33° 29′	143° 30′	17. 7	D	2	269 – 283
Feb. 15, '91	33° 00′	143° 30′	17. 3	D	1	300
Feb. 18, '91	33° 00′	142° 00′	17. 3	D	3	265 – 307
Feb. 19, '91	34° 51′	141° 16′	17. 3	L	1	263
Feb. 20, '91	33° 00′	140° 30′	17. 1	D	3	253 – 259
Feb. 20. '91	32° 30′	140° 30′	16. 7	L	1	271
Feb. 20. '91	33° 00′	140° 30′	17. 1	D	4	278 – 293
Feb. 20, '91	32° 30′	140° 30′	16. 7	D	1	293
Feb. 21, '91	32° 30′	140° 31′	15. 2	D	3	243 – 271
Feb. 21, '91	33° 29′	139° 30′	14. 3	D	1	272
Feb. 21, '91	32° 30′	140° 31′	15. 2	D	2	277 – 280
Feb. 27. '91	34° 00′	138° 00′	14. 0	D	1	280
Jun. 6, '91	36° 32′	155° 01′	17. 4	G	12	280 – 324
Jun. 7, '91	38° 01′	154° 59′	16. 6	G	17	286 – 321
Jun. 8. '91	39° 00′	155° 01′	15. 5	G	19	284 – 313
Jun. 9, '91	41° 00′	155° 02′	14. 2	G	19	275 – 307
Jun. 10, '91	42° 31′	155° 00′	11. 8	G	2	291 – 292
Jul. 22. '91	45° 30′	158° 38′	8. 8	D	5	280 – 299
Jul. 22. '91	45° 30′	158° 38′	8. 8	G	25	272 – 310
Jul. 23. '91	44° 30′	157° 30′	10. 5	G	28	227 – 315
Jul. 24, '91	43° 30′	155° 30′	17. 1	D	15	284 – 331
Jul. 24. '91	43° 30′	155° 30′	17. 1	G	33	251 – 331
Jul. 25, '91	42° 31′	153° 31′	18. 1	G	17	228 – 331
Jul. 26. '91	41° 30′	151° 30′	18. 4	G	27	279 – 336
Sep. 26, '91	41° 10′	143° 52′	16. 4	S	30	266 – 330
Sep. 26, '91	41° 47′	145° 38′	15. 9	S	8	263 – 312
Sep. 26, '91	41° 45′	145° 45′	15. 9	G	25	251 – 326
Sep. 29, '91	41° 30′	144° 30′	14. 3	D	4	266 – 336
Sep. 29, '91	41° 30′	144° 30′	14. 3	G	30	213 – 321
Sep. 30, '91	41° 30′	143° 30′	16. 0	G	5	228 – 333
Oct. 1, '91	41° 30′	145° 00′	15. 4	D	11	273 – 318
Oct. 2, '91	42° 55′	145° 50′	13. 8	D	22	194 – 290
Oct. 2, '91	42° 45′	145° 30′	14. 5	D	10	213 – 296
Oct. 23, '91	36° 10′	141° 21′	18. 4	S	28	297 – 325
Oct. 31. '91	36° 15′	141° 46′	18. 1	S	30	293 – 327
Nov. 1, '91	40° 00′	143° 00′	16. 4	G	14	244 – 323
Nov. 1. '91	40° 00′	145° 15′	14. 2	L	11	256 – 309
Nov. 1. '91	40° 00′	145° 00′	14. 2	G	22	253 – 329
Nov. 2. '91	40° 00′	145° 45′	19. 0	G	19	274 – 317
Nov. 3, '91	40° 00′	145° 15′	17. 5	G	5	288 – 314
Nov. 4. '91	38° 30′	530° 30′	19. 5	G	10	273 – 321
Nov. 7, '91	38° 30′	146° 00′	19. 0	G	11	288 – 320

* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

Table 3. (continued)

Sampling date	Location		SST	Sampling*	No. of	Knob length in mm
	Lat.(N)	Long.(E)	(℃)	gear	individuals	(range)
Nov. 7, '91	38° 30′	143° 00′	16. 5	G	24	271 – 324
Nov. 7, '91	38° 30′	143° 00′	16. 5	L	1	310
Nov. 12, '91	37° 30′	144° 52′	14. 9	S	30	280 – 321
Nov. 12, '91	35° 00′	142° 00′	23. 3	G	14	300 – 325
Nov. 15, '91	35° 00′	148° 00′	23. 6	G	3	296 – 317
Nov. 16, '91	35° 40′	148° 00′	23. 4	G	4	294 – 326
Nov. 16, '91	37° 40′	148° 00′	18. 0	G	10	271 – 311
Nov. 18, '91	35° 40′	152° 00′	21. 0	G	10	302 – 327
Nov. 19, '91	33° 40′	136° 00′		G	30	300 – 336
Nov. 22, '91	35° 50′	141° 15′	16. 5	S	30	290 – 327
Nov. 24, '91	39° 00′	150° 30′	15. 2	G	7	297 – 311
Nov. 27, '91	36° 09′	141° 52′	17. 5	S	27	253 – 313
Dec. 4, '91	33° 40′	136° 00′		S	30	289 – 29
Dec. 6, '91	36° 17′	140° 50′	16. 0	S	31	279 – 329
Dec. 16, '91	33° 40′	136° 00′	18. 5	S	27	288 – 335
Jan. 23, '91	33° 40′	136° 00′		T	60	284 – 340
Feb. 20, '91	33° 40′	136° 00′		T	13	291 – 318
May 14, '91	37° 00′	144° 00′	16. 2	G	20	272 – 317
May 24, '91	37° 00′	160° 00′	16. 0	G	30	290 – 324
Jun. 14, '91	39° 00′	154° 00′	16. 2	G	27	308 – 336
Nov. 5, '91	36° 43′	141° 13′	16. 3	S	28	271 – 324
Nov. 19. '91	36° 30′	141° 31′	15. 7	S	47	244 – 331
Nov. 30. '91	36° 34′	141° 17′	15. 1	S	28	219 – 321
Dec. 10, '91	36° 34′	141° 06′	15. 2	S	28	234 – 310

* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

透明に見える耳石の中心側は透過光下で黒く観察され，耳石最縁辺部は透明な部分は，落射光で黒く観察された。

Ⅱタイプ（Fig. 13-C, D）では，落射光下で白く不透明に見える耳石の中心側は透過光下で黒く観察され，耳石外周部の透明な部分は，やや黒く観察された。このうち，1個体では不明確ながら透明帯が観察された(Fig. 13-G)。

Ⅲタイプ（Fig. 13-E, F）では3個体のうち2個体で，落射光下で透明帯が確認できたが，透過光では透明帯の部分の透明度が，他の部分よりやや高かった。これらの観察では，透明帯の位置や範囲は薄片標本の作成前より不明瞭であり，残りの1個体では，薄片標本では透明帯の確認は出来なかった。

Ⅳタイプでは1個体で透明帯が2本確認できたが(Fig. 13-H)，残りの2個体はやはり耳石外周部全体が半透明に観察されたのみであった。

サンマでは，耳石の薄片標本を作成しても透明帯はかえって不明瞭になり，そのままの状態で観察する方が適切であろうと思われた。

2）透明帯の形成時期

透明帯の形成時期を検討するため，耳石の最縁辺部が透明帯である個体の割合を月ごとに求めた。この解析には，Ⅰ～Ⅳタイプの1,083個体を用いた。なお，3月，4月および8月には標本が採集できなかったため，以上の月の解析は行っていない。

透明帯が形成されている個体数を月ごとにみると(Fig. 14)，その割合が多かった月は1月に87.9%，12月に85.3%，11月に75.6%，2月に73.3%の順であった。一方，透明帯が形成されていない個体の割合が少ない月は，7月が7.1%，9月が11.3%，5月が31.1%であった。

透明帯が形成されている個体の割合は，9月以降増加し，10月にはほぼ半数の 50.5%に達し，さらに12月から翌年1月にピークを迎えた。そして，2月から透明帯形成中の個体の割合は徐々に減少し7月から9月に最低になり，7月にはほとんどの個体で透明帯の形成が行われていなかった。

次に，耳石タイプごとに透明帯の形成時期が異なっていないかを検討するため，出現個体数が多かったⅠ

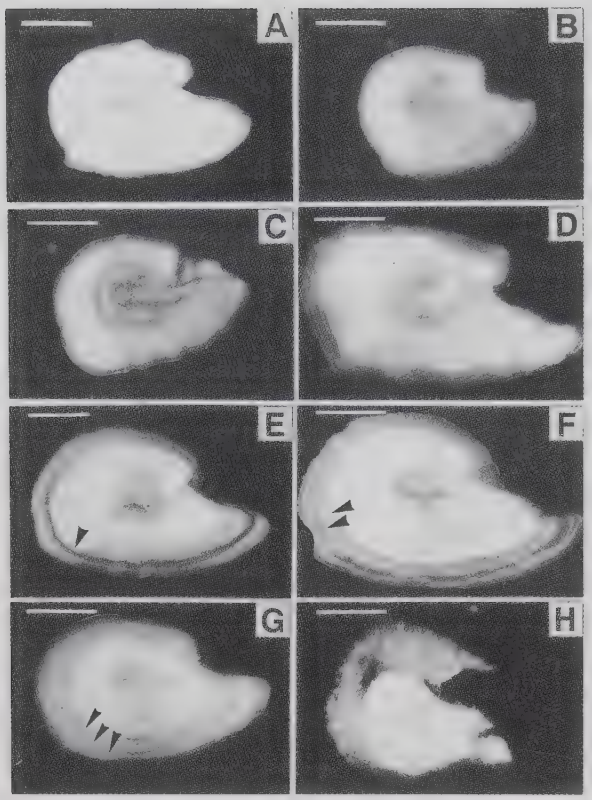


Fig. 12. Photomicrograph of representative otoliths in the Pacific saury. **A**, Type I otolith: this type showed no hyaline zones, knob length (KnL)=262 mm, sampled from 36°34′N, 141°17′E on 30 November, 1992; **B**, Type I with transparent edge, KnL=245mm, sampled from 36°34′N, 141°06′E on 10 December, 1992; **C**, Type I otolith: a hyaline zone was observed near the center of the otolith, but this example was considered type I , KnL=259mm, sampled from 42°45′N, 145°30′E on 2 November, 1991; **D**, Type II otolith: this example showed a wide translucent zone at its edge, KnL=310mm, sampled from 37° 00′N, 160°00′E on 24 May, 1992; **E**, TypeIII: otolith with one hyaline zone, KnL=274mm, sampled from 45°30′N, 158°38′E on 22 July, 1991, Arrow shows hyaline zone; **F**, TypeIV otolith: otolith with two hyaline zones, KnL=323mm, sampled from 40°00′N, 143°00′E on 1 November, 1991; **G**, otolith observed having more than 3 hyaline zones, KnL=286mm, sampled from 38°30′N, 143°00′E on 7 November, 1991; **H**, unusual otolith type, KnL=295mm.

タイプ（N=201）およびⅢタイプ（N=618）で，月ごとの耳石最縁辺部が透明である個体の割合，すなわちⅠタイプの前個体数に占めるⅠ'の個体数の割合およびⅢタイプに占めるⅢ'の割合を調べた。Ⅰタイプは，1月および5月，6月には採集個体数が10個体以下であったため，解析から除いた。この結果，Ⅰタイプでは9月に透明帯が形成中の個体が全く現れなかったのに対し，2月には100%の個体で耳石透明帯が形成中であっ

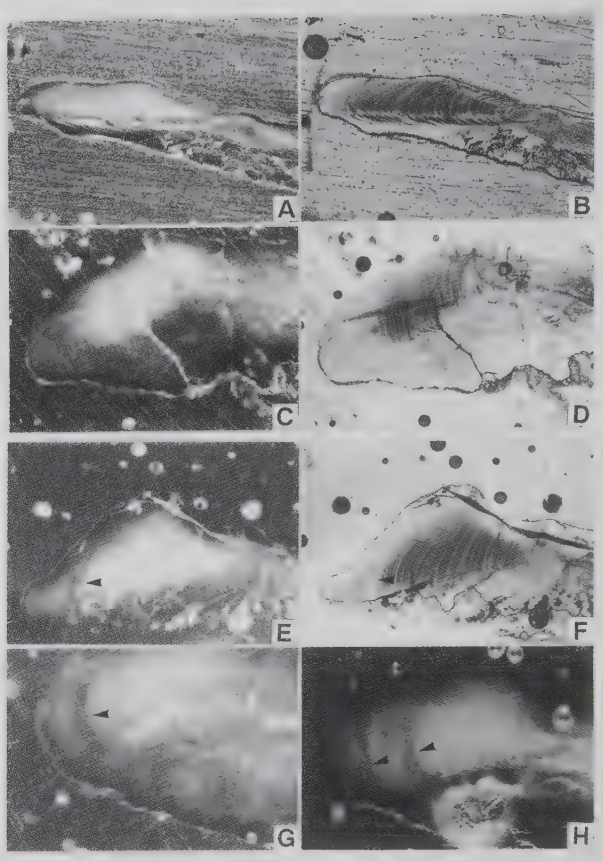


Fig. 13. Photomicrograph of sections from the otoliths in the Pacific saury. **A**, Type I otolith with transmitted light; **B**, Type I otolith with reflected light; **C**, Type II otolith with transmitted light; **D**, Type III otolith with transmitted light; **E**, Type III otolith with transmitted light; **F**, Type III otolith with reflected light; **G**, Type IV otolith with transmitted light; **H**, Type IV otolith with reflected light.

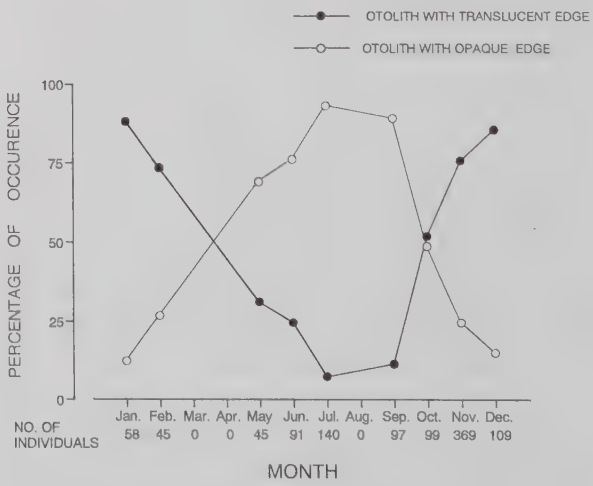


Fig. 14. Monthly changes in occurrence of otoliths with transparent edges in Pacific saury collected from the western North Pacific Ocean

た。9月から透明帯が形成されている個体の割合は増加し，10月で9.4%，11月で68.1%，12月には85.7%となり，2月には100%となった（Fig. 15-A)。

一方，Ⅲタイプでは透明帯が形成されている個体が100%になった月はなく，最もその割合が高い12月で96.9%，1月に95.0%，11月に84.4%の個体で透明帯が形成されていた。反対に，7月には8.2%，9月には14.6%と透明帯形成中の個体の割合は低かった。(Fig. 15-B)

3）耳石タイプと体長の関係

耳石タイプと体長の関係を明らかにするために，各体長群ごとに耳石タイプの割合を調べた（Table 4, Fig. 16)。

その結果，体長240mm以下の計17個体では，すべてがⅠタイプであった。241～280mmの中型群178個体では，Ⅰタイプの割合が最も多く141個体（79.2%)，次いでⅢタイプが23個体（12.9%）次いでⅡタイプが5個体（2.8%）であった。

281mm以上の大型群910個体では，Ⅲタイプの割合が最も多く565個体（65.4%)，次いでⅡタイプが144個体（15.8%)，そしてⅠタイプが53個体(5.8%)であった。

Ⅲタイプは体長280mm以上の個体で多く現れ，288～314mmでは各体長組成の中の60%を超えていた。また，Ⅳタイプは314mm以上に多く現れ，Ⅳタイプ全体の58.1%がこの中に含まれた。

中型群以下の個体ではⅠタイプが中心となっていたのに対し，大型群ではⅡタイプとⅢタイプで全体の81.2%を占めた。このように，中型群以下では透明帯が既に形成されている個体の割合が非常に低かったのに対し，大型群では透明帯が1本形成されている個体が主体となっていた（Fig. 16,17)。

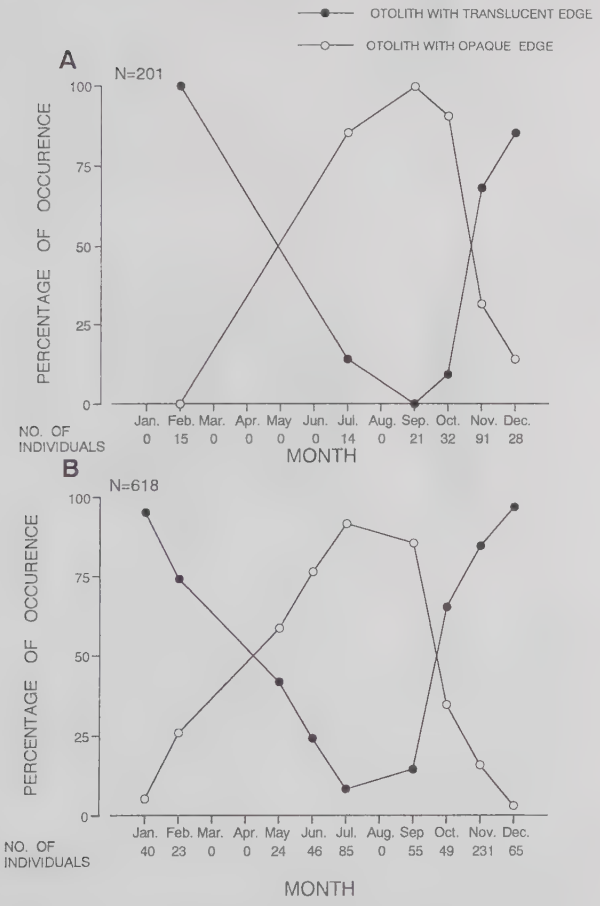


Fig. 15. Monthly changes in occurrence of otoliths with transparent edges in Pacific saury collected from the western North Pacific Ocean. **A**, type Ⅰ; **B**, type Ⅲ.

4）耳石タイプの季節的変化

前項で得られた結果の月ごとの変化を見るため，中型群と大型群について月別の耳石タイプの変化を調べた（Fig. 17)，中型群では10～12月には90%以上の個体がⅠタイプであった。しかし，この中のⅠ'タイプの割合は月ごとに増え，10月にはⅠタイプ中のⅠ'タイプの割合は8.3%，11月には68.8%，そして12月には78.9%に達した。それとともにⅢタイプの割合が増え，11月には全体の7.2%，12月には4.8%，2月には33.3%に達した。7月には再びⅠタイプが増加して全体の60.0%，9月には73.7%を占めた。この時期にはⅢタイプは減少しそれぞれ26.7%，26.3%となった。

大型群では年間を通してⅢタイプの割合が多かったが，やはり10月以降Ⅲ'タイプの割合が急激に増加した。9月には14.0%であったⅢタイプの中に占めるⅢ'タイプの割合は，10月～2月にかけて，65.3%，84.5%，96.9%，95.0%，100.0%と増加した。その後5，6，7月と透明帯形成中の個体の割合は減少し，それぞれ41.7%，23.9%，8.6%であった。1月以降はⅣタイプも10%以上出現し，1月に10.2%，2月に9.52%，5月に15.2%，7月に10.7%であった。9月以降はⅣタイプは減少し，9月に6.4%，10月に5.6%，11月に4.3%そして12月には3.4%であった。Ⅱタイプは年間を通して10～20%出現した。

これらのうち，Ⅱタイプ，ⅢタイプおよびⅣタイプの体長を比較するため，耳石縁辺部に透明帯が形成されていない7月および9月に採集された大型群について，Ⅱタイプ，ⅢタイプおよびⅣタイプの体長の平均値をStudentのt-testまたはcochran-Cox testを用いて検定を行ったところ，全ての組み合わせについて有意差はみられなかった（$P>0.01$)。

このように，Ⅱタイプ，ⅢタイプおよびⅣタイプではその体長組成に差がみられず，異なった年級群であるという明確な証明は出来なかった。

Table 4. Occurence of otolith in each size group Pacific sauy from February 1991 to December 1992

Otolith type	Less than small size (<240mm)		Medium size (241-280mm)		large size (>281mm)	
	No. of individuals	(%)	No. of individuals	(%)	No. of individuals	(%)
I	16	100.0	141	79.2	53	5.8
II	0	0.0	5	2.8	144	15.8
III	0	0.0	23	12.9	595	65.4
IV	0	0.0	2	1.1	72	7.9
Other type	0	0.0	7	3.9	46	75.1
Total	16	100.0	178	100.0	910	100.0

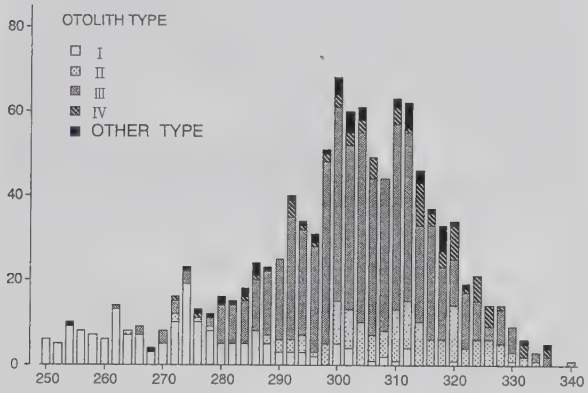


Fig. 16. Relationship between knob length and otolith type

5）耳石透明帯形成時の体長

耳石に透明帯が形成される時の体長を推定するため，透明帯が形成されている最中の個体，すなわちI'タイプおよびIII'タイプの体長組成を推定した。

最初の透明帯が形成される体長を推定するために，I'タイプの体長組成を検討した（N=124）。体長組成は，280mmを中心とした220～320mmに出現し，小型群4個体3.2%，中型群79個体63.7%そして大型群39個体31.5%であった（Fig. 18-A）。

次に2番目の透明帯が形成される体長を推定するために，III'タイプの体長組成を検討した（N=381）。これらの個体は310mmを中心とした270～336mmに出現し，中型群3個体0.8%，大型群99.2%であった（Fig. 18-B）。

最初の透明帯が形成されるときの体長は主に中型群に，2番目の透明帯は大型群に達してから形成されると考えられた。

6）耳石透明帯の形成と水温の関係

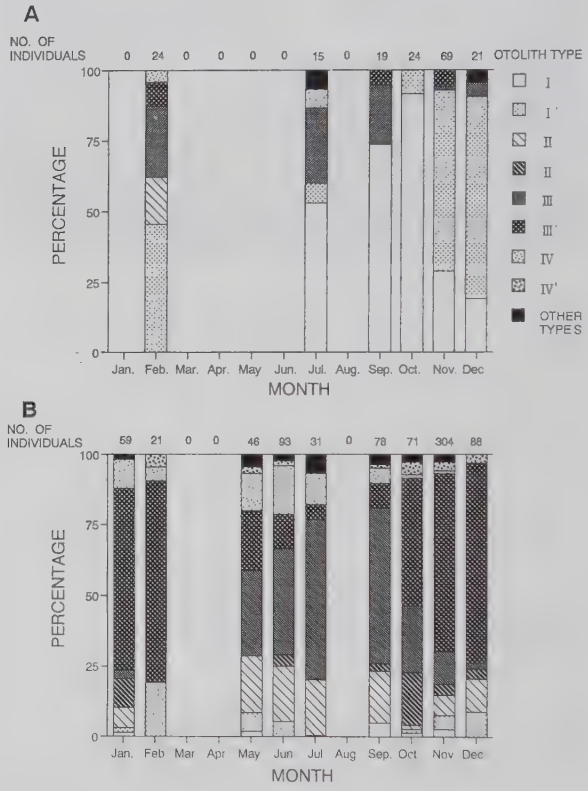


Fig. 17. Monthly changes of occurrence of each otolith type in Pacific saury collected from the western North Pacific Ocean. **A**, medium-size group (240-280 mm); **B**, large-size group (>280 mm). Otoliths with transparent edges were separated from each original otolith types (Types I II III and IV).

耳石透明帯と水温との関係を比較するため，表面水温と透明帯が形成されている個体の割合を調べた結果，13℃までで採集された個体は透明帯形成中の個体は11%以下であったのに対し，19℃以上では80%以上の個体が透明帯が形成されている個体であった（Fig. 19）。

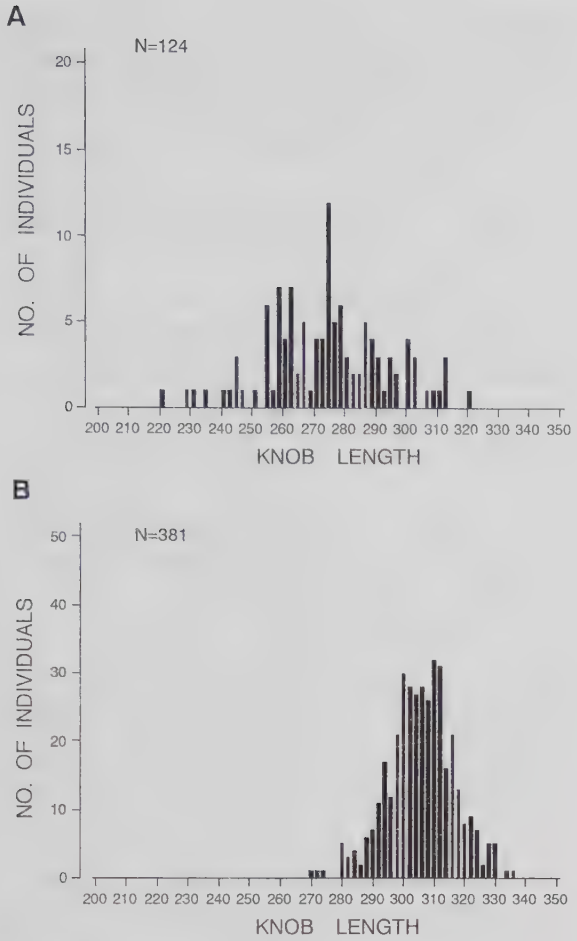


Fig. 18. Size composition of Pacific saury that have I and Ⅲ'type otolith. A, I 'type ; B, Ⅲ'type.

また，14～18℃で採集された個体では，耳石縁辺部が透明な個体は40.4～57.7%とほぼ半数であった。

表面水温が高いほど，特に19℃以上の海域で採集された個体に透明帯が形成されている割合が高かった。

3．考　　察

以上の結果をまとめると，小型群および中型群では耳石に透明帯が完全に形成されていない個体，すなわちⅠタイプが主体であったのに対し，大型群ではⅢタイプの透明帯が1本観察される個体が過半数を占め，この他に縁辺部に広い半透明な部分見られるⅡタイプ，または2本の透明帯がみられるⅣタイプが出現した。また，透明帯は主に冬季を中心として形成されることが，耳石縁辺部の観察で明らかになった。そして，最初の輪紋が形成されているときの体長は，275mmを中心とした220～320mmの間であり，秋季に小型群以上に達している個体には，最初の透明帯が形成されると考えられた。

今回の観察の結果，7月以降の中型群には透明帯が

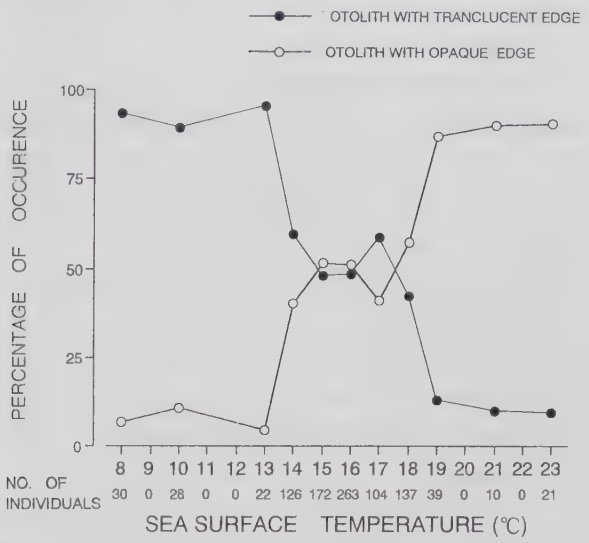


Fig. 19. Relationship between sea surface temparature and the edge of otolith conditions

観察されない個体が主体であった。また，漁期が始まる8月以降の中型群にも，その耳石には透明帯が観察されない（菅間，1957, 1959; 堀田，1960; 今井, 1993a, 1993b）ことが知られている。このことは，冬季に透明帯の形成が始まった小型群は翌年の漁期が始まる8月には透明帯が観察されない中型群ではなく，透明帯が観察される大型群に達していることを示している。

大型群に多くみられたⅢタイプにおいても，11月から透明帯の形成されている個体の割合は多くなり，2月にはほとんどの個体の耳石縁辺部に透明な部分が観察された。Ⅲタイプの耳石にも冬季には2本目の透明帯が形成されると考えられたが，2本目の輪紋が形成されたⅣタイプの個体は，大型群の中の約8%と割合が少なかったことから，多くは再び不透明帯が形成される前に死亡したものと考えられた。また，7月から9月におけるⅡタイプ，ⅢタイプおよびⅣタイプの体長組成を見ると，各群の平均値には有意差がみらなかった。そのため，Ⅳタイプの個体の全てがⅢタイプと年齢が1歳異なった個体であるかについては，疑問の余地がある。

菅間（1957, 1959）および堀田（1960）によれば，Ⅰタイプを持つ小型群と中型群が翌年ⅢタイプとⅡタイプの大型群としてそれぞれ出現し，これらは孵化時期が異なるグループであろうと述べ，今井（1993a）もこれを支持している。このⅡタイプは，Ⅲタイプとともに5月頃から出現するが，その体長の平均値には有意差が認められず，ⅡタイプおよびⅢタイプの2群が孵化時期や年齢が異なるという明確な証拠は得られなかった。また，薄片を作成して観察した結果，Ⅱタイプ3個体のうち1個体で不鮮明な透明帯が観察されている

ことから，Ⅱタイプは表面観察で透明帯が確認できなかった可能性も考えられる。

前章での耳石日周輪の解析の結果，透明帯は冬季を中心に形成されると推定されたが，耳石縁辺部の観察からもこれが裏付けられた。しかし，大型群で日周輪が計数された個体はすべてⅢタイプであり，ⅡタイプよびⅣタイプでは日周輪が計数された個体はなかった。この耳石タイプと日周輪の明確さについては今後検討を要する問題であろう。

これまで耳石の透明帯による年齢査定はカサゴ *Sebasticas marmoratus*（水江, 1958），アカアマダイ *Branchiostegus japonicus*（林, 1976a, 1976b），マコガレイ *Limanda yokohamae*（Solomon *et al.*, 1987），アカガレイ *Hipppoglossoides dubius*（中谷ら，1990），マダラ *Gadus macrocephalus*（服部ら，1992）などで行われている。これらではいずれも冬季に透明帯が形成され，輪紋の形成時には成長が低下することが知られている。サンマでも，透明帯が形成されている個体は，11月から2月にかけて採集され，この時期には成長率が低下することが，耳石日周輪の輪紋間隔から前章で示唆されている。

これらの成長の低下の要因として，生息水温，餌料環境および成熟などが考えられる。生息水温に関しては，透明帯が形成される冬季にサンマは南方海域に南下するため，透明帯が形成されている個体は高水温域で採集されている。そのため，透明帯の形成については，餌料環境やその他の外部要因および成熟等の内部要因もあわせてさらに詳しく検討する必要があろう。漁期中の中型群が満1歳以上と推定されているにもかかわらず透明帯が見られないのは，単に冬という季節のみが原因で透明帯が形成されるということを示していない。したがって，透明帯が形成されている群と，されていない群での冬季の分布およびその外部環境，成熟等の関係をさらに検討する必要があると考える。

今回の結果から，小型群以上では冬季に透明帯が形成されるため年齢の目安となると考えられたが，その一方でⅣタイプの一部やⅡタイプ，およびこれらに属さない不規則な透明帯の形成をするものも見られ，全個体については耳石透明帯から年齢を明らかにすることは不可能であろうと思われた。しかし，多くの個体で冬季には小型群と中型群で初めての透明帯が形成されること，Ⅲタイプの耳石を持った大型群には冬季に再び2本目の透明帯が形成される個体がいることが明らかになった。2本目の透明帯が形成されている個体は，その形成が完全に終了する前にすなわちⅣタイプになる前に寿命を迎えると考えられた。耳石日周輪から，Ⅲタイプは2年前の秋から前年の冬季に孵化した群と考えられているので，サンマの寿命はおそらく2歳程度であろうと思われた。また，透明帯が2本観察されたⅣタイプの中にⅢタイプの生き残りの個体がいるとすれば，その寿命は2年半程度ということになる。

第4章　組織学的観察に基づく雌の成熟過程

これまでサンマの産卵期に関する研究は，稚魚ネットによって採集された仔稚魚の採集個体数の季節的変化に基づいて論じられているもの（小達, 1956a, 1962a; 深滝，1959; Watanabe and Lo，1989など）がほとんどで，産卵期における親魚の成熟状態に関する詳細な報告は少ない（小達，1956a; 小坂，1991）。そのため，サンマの繁殖特性，すなわち年齢と成熟の関係，一生の間の産卵回数および産卵後の親魚の消長など水産資源学的に重要な課題は未解決のままである。

これらの産卵様式や産卵前後の内的変化を明らかにするためには，生殖腺の組織学的な観察を行うことによって，生殖腺重量や生殖腺重量指数（GSI）等の外面的変化だけでは捉えられない質的な変化を把握する必要がある。本種に関する生殖腺の組織学的な研究はこれまでにも行われてきている（堀ら, 1969; Sato, 1981; 小坂，1991）が，いずれも断片的なものであり，前述の課題を明らかにするには至っていない。

そこで，本研究では中部北太平洋および西部北太平洋において採集されたサンマについて，卵巣の組織学的観察を行い，成熟度を設定して各個体の成熟状態の質的な指標を作成した。この成熟度と，生殖腺重量，GSI および肥満度などの指数を対応させ，成熟に伴うこれらの指数の変化を明らかにした。また，卵巣卵組成や卵径頻度分布から組織学的観察で得られた卵発達の様式を裏付けた。そして，成熟度と体長および採集点の水温との比較を行い，本種の成熟・産卵に至るまでの過程とその後の消長などの繁殖特性を解明した。

1．材料と方法

本研究で用いた標本は，1989年2月から1992年12月に，北緯30°～45°30'，東経133°30'～158°38'の 計71点の採集点において，調査用流し網，定置網，高速ネット，稚魚ネット，釣り，たも網および棒受け網で採集された雌570個体である（Table 5）。採集した個体は生殖腺を取り出してブアン氏液に固定し，魚体は冷凍して保存した。これらの標本は，研究室に持ち帰ってから肉体長，体重および固定した生殖腺の重量を測定した。固定した生殖腺の重量は，生の状態と異なることが予想されるため，これらの補正係数を求めて固定前

の重量に換算した。この補正係数は，北海道茅部郡南茅部町で定置網によって採集された雌38個体の生殖腺を，固定前とブアン氏液固定後に計測して求めた。その結果，固定によって卵巣重量は増大し，補正係数は0.96となった。したがって，固定後の重量に補正係数を乗じた値を卵巣補正重量として用いた。体重は，解凍後計測した重量にこの卵巣補正重量を加えた値とし，この値をもとにGSI（生殖腺重量（g）×10^2／体重（g）），および肥満度（体重（g）×10^6／体長^3（cm））を目黒ら（1987）に従って求めた。なお，体長161mm以下の20個体は魚体ごと固定し，体断面が観察できるよう切片を作成した。そのため，これらについては体重および生殖腺重量は不明である。

卵巣の組織標本は，通常のパラフィン法により作成し，1個体に2本ある生殖腺のうちの1本の中位部分を切り出して行った。組織標本は，厚さ8μmの連続切片として，デラフィールドのヘマトキシリンおよびエオシンによって二重染色を施した。作成した切片は，光学顕微鏡を用いて40〜400倍で観察した。卵巣卵組成の計数は組織標本をもとに行い，卵径の計測は接眼ミクロメーターを用いて卵細胞の直径と単径を計測し，

半径＝((長径^2＋短径径^2)／2)$^{1/2}$とした。

卵径頻度分布および一回に産卵される産卵数，すなわちバッチ産卵数の計数は，組織標本に用いなかった側の生殖腺で行った。卵径頻度分布の計測は，生殖腺の中位から無作為に100の卵母細胞を選び，光学顕微鏡のもとで接眼ミクロメーターを用いて，それぞれの長径と単径を計測した。バッチ産卵数の計数には，最初に計数する側の生殖腺の重量（G）を再度計測した後，前位，中位および後位から各5mm程度を切り出した。そして，切りだした部分の重量（g）を計測してから，この中の第3次卵黄球期の卵細胞の数（n）を実体顕微鏡のもとで計数し，以下の式でバッチ産卵数（N）を推定した。

N　n×G×2／g

計数した第3次卵黄球期の卵細胞の見分け方については，結果の中で述べる。

2．結　　果

1）卵形成の区分

サンマの卵巣卵の発達の特徴を明らかにするため，小坂（1991）に準じて卵細胞の発達段階の区分を行った。以下に周辺仁期以降の卵細胞の各期の概要を述べる。

卵原細胞から発達した卵は，細胞質が次第に増加してヘマトキシリンに濃染するようになり周辺仁期（Fig. 20-A）になる。周辺仁期の後期になると細胞質が増加しヘマトキシリン好染性は薄れ，濾胞細胞の厚さが増す。この時の卵母細胞の直径（以下卵径）は，0.06〜0.18mmである。卵径が0.15mmに達する頃から，細胞質内に卵黄胞が出現する。卵黄胞は，はじめ細胞質中に少数出現し並び方も不規則であるが，次第にその数を増すとともに，濾胞細胞に沿って核を中心とした同心円上に2〜3列に並ぶ。この時期を卵黄胞前期（Fig. 20-B）とし，その卵径は，0.15〜0.34mmである。卵黄胞は，さらに数を増して核周辺に集まり，細胞質の半分以上を占めるようになった卵を卵黄胞後期（Fig. 20-C）とした。卵径は，0.31〜0.39mmに達する。

次に，卵細胞中に卵黄顆粒が出現する。卵黄物質は，メダカ Oryzias latipes において報告されている（Yamamoto and Yoshioka, 1964）のと同様に，蓄積とともに融合する。この融合した卵黄球が，核の大きさを超えない程度の時期を第1次卵黄球期（Fig. 20-D）とした。この時期の卵径は，0.30〜0.45mmである。卵黄球は次第に大きさを増し核径を超えるが，核は極端な遍在はしない。この時期を第2次卵黄球期（Fig. 20-E）と呼び，卵径は，0.41〜0.71mmである。やがて，卵黄物質は細胞質のほとんどを占めて大きな塊となるが，一部は濾胞細胞周辺に小塊として存在する。この時期の核は濾胞細胞寄りに片寄るが核膜は認識できる（第3次卵黄球期，Fig. 20-F）卵径は，0.80〜1.62mmである。

卵黄は完全に融合し，核膜が消失した時期を成熟期（Fig. 20-G）し，その卵径は，0.90〜1.52 mm であった。最後に完熟期に達した卵は，排卵されて卵巣腔に集まる（完熟期，Fig. 20-H）。この時期には，排卵後濾胞が卵巣中に観察される。完熟期の卵径は，1.02〜1.81mmである。

2）排卵後濾胞および退行卵の消長

今回観察した個体のうち，第2次卵黄球期以降の卵を持つ個体の143個体で排卵後濾胞が観察された（Fig. 20-I）。

また，今回の観察では，卵巣中に退行卵が観察される個体が現れた。サンマの退行卵については，すでに報告されているが，その明確な位置づけと消長の過程が明らかではないため，本研究ではその分類と吸収過程について検討した。

観察された退行卵は，核が変形または消失して，細胞質が濾胞細胞に吸収されていた。また，退行卵中に残存している卵黄胞および卵黄球の位置や数から，退行の開始時期は卵黄胞前期から卵黄球期までにわたっていると判断された。そのため，退行の開始時期を細胞質内に残存している卵黄胞，卵黄球の位置と数および卵径をもとに分類した。卵黄胞期からの退行卵

Table 5. Collection records of samples to analyze the histological observation of gonads

Sampling date	Location		SST	Sampling*	No. of	Knob length in mm
	Lat.(N)	Long.(E)	(℃)	gear	individuals	(range)
Feb. 7, '89	30° 00′	135° 30′		D	2	301 – 311
Feb. 7, '89	31° 30′	135° 30′		D	1	312
Feb. 8. '89	33° 00′	134° 20′		K	1	280
Feb. 9, '89	33° 24′	134° 20′		K	1	313
Feb. 10, '89	32° 45′	133° 30′		K	1	298
Feb. 10, '89	30° 00′	134° 00′		K	1	298
Feb. 14, '89	34° 00′	143° 30′	16. 9	D	4	253 – 282
Feb. 15, '89	33° 29′	143° 30′	17. 7	D	1	283
Feb. 18, '89	33° 00′	142° 00′	17. 7	D	1	270
Feb. 19, '89	34° SI′	141° IS′	17. 3	L	2	209 – 261
Feb. 20, '89	32° 30′	140° 30′	16. 7	L	1	293
Feb. 20, '89	33° 00′	140° 30′	17. 1	L	4	269 – 285
Feb. 21, '89	32° 30′	140° 31′	15. 2	G	2	243 – 261
Jnn. 6, '91	36° 32′	155° 01′	17. 4	G	6	280 – 324
Jun. 7, '91	38° 01′	154° 59′	16. 6	G	15	286 – 321
Jun. 8, '91	39° 00′	155° 01′	15. 5	G	12	284 – 313
Jun. 9, '91	41° 00′	155° 02′	14. 2	G	8	275 – 307
Jun. 10, '91	42° 31′	155° 00′	11. 8	G	1	291
Jul. 22, '91	45° 30′	158° 38′	8. 8	D, G	17	272 – 307
Jul. 23, '91	44° 30′	157° 30′	10. 5	G	14	227 – 315
Jul. 24, '91	43° 30′	155° 30′	17. 1	D, G	20	251 – 324
Jul. 25, '91	42° 31′	153° 31′	18. 1	D	11	288 – 331
Jul. 26, '91	41° 30′	151° 30′	18. 4	D	17	293 – 336
Sep. 25, '91	42° 30′	145° 00′	14. 6	G	10	210 – 334
Sep. 25, '91	42° 27′	144° 53′	14. 6	D, F	13	121 – 227
Sep. 26, '91	41° 47′	145° 38′	15. 9	D, G	11	263 – 321
Sep. 26, '91	41° 45′	145° 45′	15. 9	G	16	251 – 326
Sep. 29, '91	41° 30′	144° 30′	14. 3	D, G	25	93 – 325
Sep. 30, '91	41° 30′	143° 30′	16. 0	G	2	240 – 333
Oct. 1. '91	41° 30′	145° 00′	15. 4	D	4	309 – 318
Oct. 2, '91	42° 55′	145° 50′	13. 8	D	8	231 – 267
Oct. 2, '91	42° 45′	145° 30′	14. 5	D	5	213 – 296
Oct. 2, '91	42° 45′	145° 30′	14. 5	D	1	132
Oct. 3, '91	42° 00′	144° 00′	15. 4	D	6	139 – 161
Oct. 23, '91	36° 10′	141° 21′	18. 4	S	18	297 – 325
Oct. 31. '91	36° 15′	141° 46′	18. 1	S	9	300 – 327
Nov. 1, '91	40° 00′	145° 15′	14. 2	L	6	263 – 309
Nov. 1, '91	40° 00′	143° 00′	16. 4	G	2	244 – 309
Nov. 1, '91	40° 00′	145° 00′	14. 2	G	12	263 – 329
Nov. 2, '91	40° 00′	145° 45′	19. 0	G	11	292 – 314
Nov. 3, '91	40° 00′	145° IS′	17. 5	G	3	300 – 314
Nov. 4, '91	38° 30′	153° 30′	19. 5	G	8	273 – 328
Nov. 7, '91	38° 30′	146° 00′	19. 0	G	7	292 – 337
Nov. 7, '91	38° 30′	143° 00′	16. 5	G	11	279 – 324

* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

Table 5. (continued)

Sampling date	Location		SST	Sampling*	No. of	Knob length in mm
	Lat.(N)	Long.(E)	(℃)	gear	individuals	(range)
Nov. 12, '91	35° 00′	142° 00′	23. 3	G	4	314 – 325
Nov. 12, '91	37° 30′	144° 52′	14. 9	S	17	289 – 321
Nov. 15, '91	35° 00′	148° 00′	23. 6	G	1	309
Nov. 16, '91	37° 40′	148° 00′	18. 0	G	3	292 – 309
Nov. 16, '91	35° 40′	148° 00′	23. 4	G	2	323 – 326
Nov. 18, '91	35° 40′	152° 00′	21. 0	G	2	316 – 327
Nov. 19, '91	33° 30′	136° 00′		G	20	300 – 336
Nov. 22, '91	35° 50′	141° 15′	16. 5	S	14	293 – 320
Nov. 24, '91	39° 00′	150° 30′	15. 2		7	297 – 311
Nov. 27, '91	36° 09′	141° 52′	17. 5	S	11	282 – 313
Dec. 4, '91	33° 30′	136° 00′		S	20	300 – 328
Dec. 6, '91	36° 17′	140° S0′	16. 0	S	18	284 – 329
Dec. 16, 91	33° 30′	136° 00′	18. 5	S	20	302 – 333
Jan. 23, '92	33° 30′	136° 00′		T	25	298 – 340
Feb. 20, '91	33° 30′	136° 00′		T	7	292 – 318
May 14, '92	37° 00′	144° 00′	16. 2	G	9	286 – 317
May 24, '92	37° 00′	160° 00′	16. 0	G	13	298 – 320
Jun. 14, '92	39° 00′	154° 00′	16. 2	G	15	308 – 336
Nov. 5, '92	36° 43′	141° 13′	16. 3	S	16	272 – 324
Nov. 19, '92	36° 30′	141° 31′	15. 7	S	27	249 – 331
Nov. 30, '92	36° 34′	141° 17′	15. 1	S	17	219 – 315
Dec. 10, '92	36° 34′	141° 06′	15. 2	S	13	254 – 310

* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

(Fig. 20-J) は，細胞質中に卵黄物質らしいものが見られない点から判断した。一方，卵黄球期から退行した退行卵 (Fig. 20-K) は，卵黄物質が観察された。

なお，細胞質の吸収が進んだ退行卵 (Fig. 20-L) では，退行開始の時期が特定できなかったため，これらは退行時期不明の不明退行卵として扱った。

3) 卵巣卵の発達様式と成熟度の設定

卵巣卵には，これまで報告されてきたように，様々な発達段階の卵が見られ，非同期発達型の卵発達を示した。なお，退行卵は，卵黄胞後期および卵黄球期の卵では卵巣内にまとまって出現することが多かったのに対し，卵黄胞前期の退行卵は卵巣中に少数出現することが多かった。以上の知見から，卵巣内で最も発達した卵の発達段階および退行卵の出現を指標として，卵黄胞前期以降の組織学的な成熟度を設定した。以下に各成熟度の特徴を述べる。

Ⅰ. 周辺仁期 (Fig. 21-A) 卵巣内の卵細胞は，周辺仁期までしか見られない。周辺仁期の個体は体長93～251mmの27個体 (4.7%) で、その生殖腺重量は平均0.09 (S.D.=0.02；以下同様) gであった。

Ⅱ. 卵黄胞前期 (Fig. 21-B) 最も発達した卵は卵黄胞前期までであり，かつ卵黄胞後期以降の退行卵は存在せず，一部の個体で卵黄胞前期または退行開始時期不明の退行卵が観察された。この成熟度の個体は，体長が213～334mmまでの161個体 (28.2%) で，生殖腺重量は0.41 (0.18) gを示した。

Ⅲ. 卵黄胞後期 (Fig. 21-C) 最も発達した卵が卵黄胞後期に達しており，卵黄胞前期と同様に一部では卵黄胞前期または不明退行卵が見られた。卵黄胞後期の個体は，体長が209～321mmの73個体 (12.8%) で，生殖腺重量は0.53 (0.22) gであった。

Ⅳ. 卵黄形成期　第1次卵黄球期から第3次卵黄球期の卵を持つ個体を，卵黄形成期とした。この成熟度の個体は，108個体 (18.9%) 出現したが，卵形成の過程を詳細に検討する際には，さらに3期に区分した。

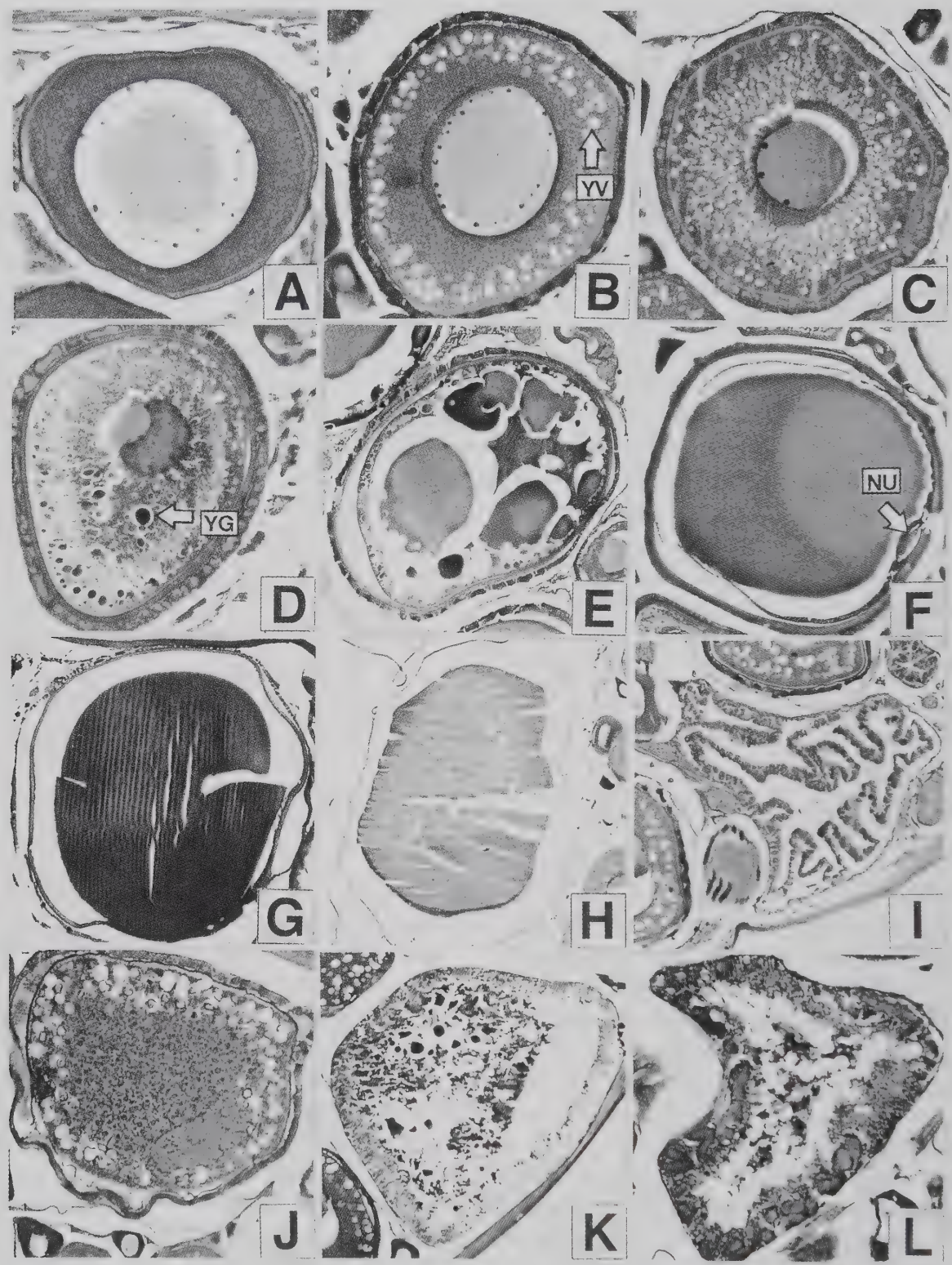


Fig. 20. Photomicrographs of sections from the ovary of the Pacific saury fixed in Bouin's fluid and stained with haematoxylin and eosin. **A**, oocyte in the pre-nucleolus stage ×270; **B**, oocyte in the early cortical alveloi stage. YV yolk vesicles. ×190; **C**, oocyte in the late cortical alveloi stage. ×120; **D**, oocyte in the primary yolk stage. *YG* yolk globules. ×170; **E**, oocyte in the secondary yolk stage. ×135; **F**, oocyte in the territory yolk stage. *NU* nucleus ×75; **G**, oocyte in the pre-maturation stage. ×60; **H**, oocyte in the maturation stage. ×50; **I**, empty follicle. ×170; **J**, atretic egg from the yolk vesicle stage. ×190; **K**, atretic egg from the yolk stage. ×15; **L**, atretic egg in advanced stage of degeneration. ×170.

すなわち，卵巣内で最も進んだ卵が第1次卵黄球期に達している個体を成熟度Ⅳ-1（Fig. 21-D）とし，体長266～313mmの10個体（1.7%）が，この成熟度に該当した。なお，これらの個体の中で，排卵後濾胞が観察された個体はなく，生殖腺重量は0.87（0.20）gであった。

第2次卵黄球期の卵細胞をもつ個体は，成熟度Ⅳ-2（Fig. 21-E）と区分した。この成熟度の個体は体長292～321mmの8個体（1.4%）で，生殖腺重量は顕著に増加し，2.09（1.04）gであった。

これらのうち3個体では排卵後濾胞が観察された。卵発達が進み，卵巣内で最も進んだ卵が第3次卵黄球期に達している個体を，成熟度Ⅳ-3（Fig. 21-F）とした。この成熟度の個体は体長270～336mmの90個体（15.8%）であり，このうちの48個体では排卵後濾胞が観察された。この時期生殖腺重量は3.32（1.22）gに達した。

Ⅴ．成熟・完熟期　卵巣中に成熟した卵が観察される。この成熟度についても，卵巣中に排卵前の成熟期の卵が存在する成熟期（Ⅴ-1，Fig. 21-G），および排卵排卵された卵を持つ完熟期（Ⅴ-2，Fig. 21-H）の2期に分けた。

成熟期の個体は，体長269～336mmの36個体（6.3%）が出現し，生殖腺重量は5.63（1.94）gに達し，9個体で排卵後濾胞が観察された。

完熟期の個体は，体長308～330mmの56個体（4.4%）が出現し，生殖腺重量は5.13（2.24）gを示した。なお，成熟期および完熟期の個体にごく少数の退行卵がみられる場合があったが，これらについては退行期とはしなかった。

Ⅵ．退行期Ⅰ（Fig. 21-I）卵黄形成中の卵が退行卵を主体とする個体で，卵巣内の卵黄形成中の卵の過半数が退行しており，卵黄物質が多く蓄積されている卵ほど明瞭な退行像を示していた。なお，排卵後濾胞は観察されなかった。これらは体長261～340mmの98個体で全標本中の4.4%で，生殖腺重量は1.46（0.77）gであった。

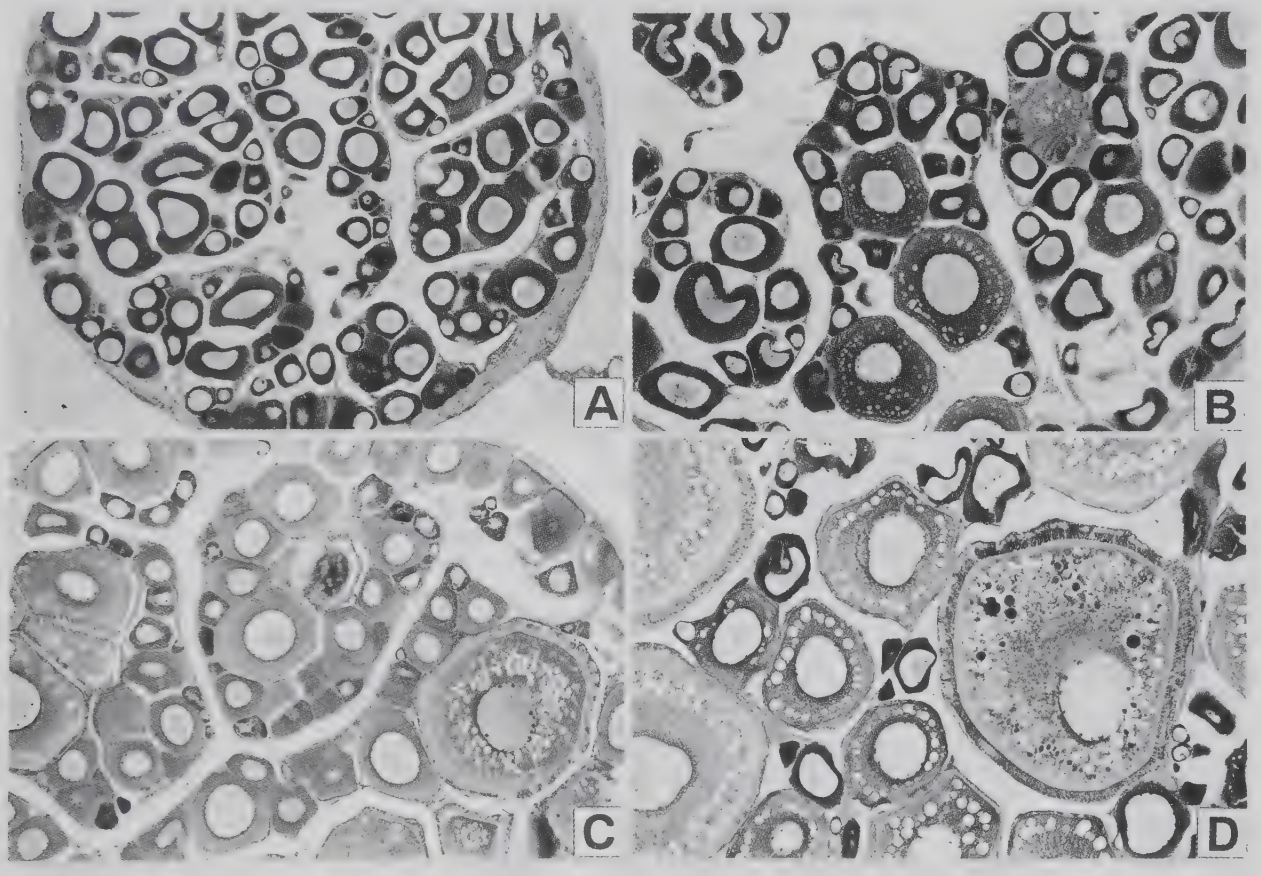


Fig. 21. Photomicrographs of sections from the ovary of the Pacific saury fixed in Bouin's fluid and stained with haematoxylin and eosin. **A**, ovary of the maturity stage Ⅰ. Advanced oocyte is in the pre-nucleolus stage; **B**, ovary of the maturity stage Ⅱ. Advanced oocyte is in the early yolk vesicle stage; **C**, ovary of the maturity stage Ⅲ. Advanced oocyte is in the late yolk vesicle stage; **D**, ovary of the maturity stage Ⅳ-1. Advanced oocyte is in the primary yolk stage; **E**, ovary of the maturity stage Ⅳ-2. Advanced oocyte is in the secondary yolk stage; **F**, ovary of the maturity stage Ⅳ-3. Advanced oocyte is in the territory yolk stage; **G**, ovary of the maturity stage Ⅴ-1. Advanced oocyte is in the maturation stage; **H**, ovary of the maturity stage Ⅴ-2. Advanced oocyte is in the ripe stage; **I**, ovary of the atretic stage Ⅰ; **J**, ovary of the atretic stage Ⅱ; **K**, **L**, The ovary which does not belong to the above maturity stage. Most of oocytes in the goned were absorbed.

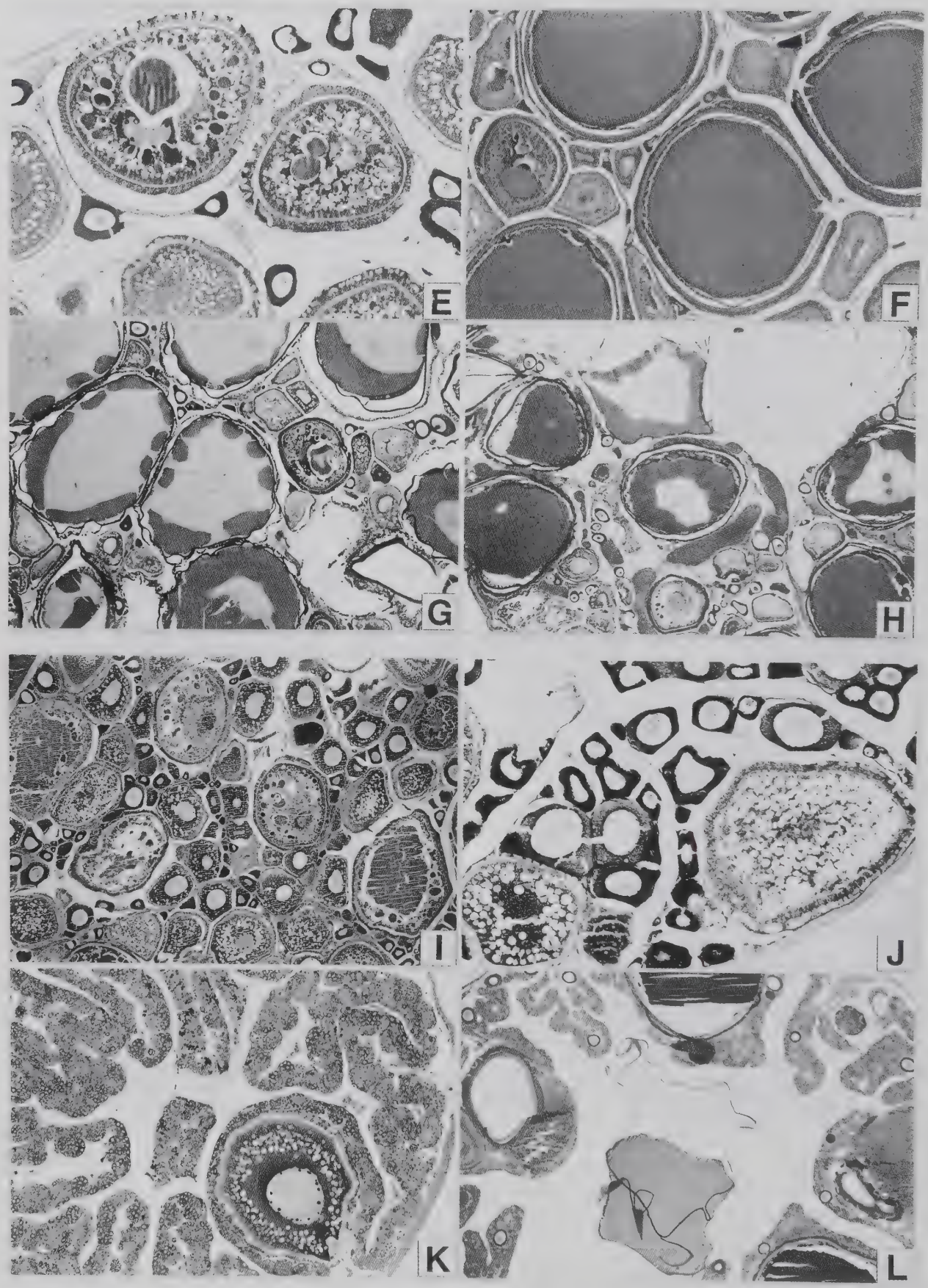


Fig. 21. (continued)

Ⅶ. 退行期Ⅱ（Fig. 21-J）卵巣中の卵黄胞後期の卵の一部が退行像を示している個体で，最も発達した正常卵は卵黄胞前期または卵黄胞後期の卵であった。これらは，体長258～324mmの51個体で全標本中28.9%であった。退行期Ⅱでは生殖腺重量は再び減少し0.67 (0.28) gを示した。なお，卵黄胞前期または後期の個体においても卵巣中に吸収の進んだ不明退行卵が観察される個体が現れたが，退行卵の退行開始時期が特定できなかったため，これらは退行期には含めていない。

生殖腺重量は卵黄の形成が進んだ成熟度Ⅳの時期に急激に増加し，産卵後は再び低下することが示された (Fig. 22, Table 6)。一方，GSIも生殖線重量と同様に，周辺仁期から成熟期にかけて増加し、成熟期には4.33 (1.33) に，完熟期は4.32 (2.22) に達した後，退行期Ⅰ以降減少していた。

このほかに，以上の成熟度に属さない個体が2個体現れた。これらは卵巣膜および卵巣薄板が肥厚して卵巣中の卵が極端に少なく，他の成熟度と明らかに異なった。その体長は328mmおよび337mmであり，前者では周辺仁期から卵黄胞後期 (Fig. 21-K)，第3次卵黄球期および完熟期の卵が観察された (Fig. 21-L) が，その数は極めて少なく卵巣重量が1.50 gで低い値を示した。後者では，周辺仁期および卵黄胞前期の卵が極く少数観察され，卵巣重量は0.33 gと非常に小さかった。

この2個体は，産卵が終わって卵原細胞から卵黄胞期以降の卵の補給が停止しているか，卵原細胞そのものを使い果たした個体であると推定された。

4）各成熟度の外見的観察

ここまでに設定した組織学的成熟度の外見的な変化を検討するため，組織学的成熟度を設定した個体の生殖腺を肉眼的および実体顕微鏡（6.6～40倍）によって観察を行い，両者の比較・検討を行った。

その結果，成熟度Ⅳ-1，Ⅳ-2，Ⅳ-3，Ⅴ-1，Ⅴ-2およびⅥについては，外見から成熟度の判断がほぼ可能であった。しかし，成熟度Ⅱ以前とⅦについては外見的には差が見られないため，生殖腺の外見上からは明確な区別ができなかった。以下に各成熟期の外見的特徴を述べる。

(1) 成熟度Ⅲ以前およびⅦ

卵巣の直径は1～2 mm程度で，外見からは均一に黄色く見える。卵巣卵は不透明で，卵径のばらつきは若干見られるが明確ではない。

(2) 成熟度Ⅳ-1

卵巣の太さは2～3 mm程度に達し，卵巣卵の一部は径を増すとともに透明感が出て，卵巣膜の外側からも確認できるようになる。

(3) 成熟度Ⅳ-2

卵巣の太さは3～5 mm程度に達し，発達を始めた卵巣卵は透明感が一層増し，卵巣膜の外側からも明瞭になり，卵巣全体に斑点状となって観察される。

(4) 成熟度Ⅳ-3

卵巣の太さは4～6 mm程度になり，発達を始めた卵巣卵の透明感はさらに増す。この頃，卵巣卵には纏絡糸が形成され始めるが，卵巣卵をほぐしてもお互いに絡み合うことはない。

(5) 成熟度Ⅴ-1

卵巣の太さは太いもので10mm以上に達するものも現れ，成熟して透明感を増した卵が卵巣膜の外側からもはっきりわかるために，全体が網目状に見える。この卵巣卵は1 mmを越えてほぼ透明となり，纏絡糸が発達してお互いに絡み合うようになる。しかし，完熟期の卵は卵巣薄板に付着しているため，卵巣断面全体にわたって存在している。

(6) 成熟度Ⅴ-2

排卵が起きているため，完熟卵が卵巣腔中すなわち

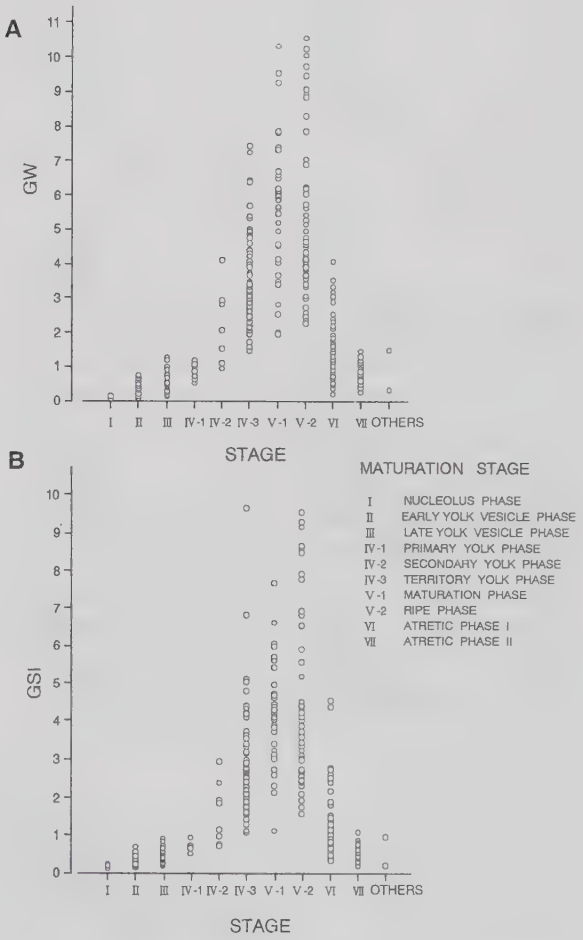


Fig. 22. Relationship between knob length and otolith type

Table 6. Knob length (KnL), body weight (BW), gonad weight (GW), gonad somatic index (GSI) and condition factor (CF) at each maturity stage of the Pacific saury

Maturity stage	No. of individuals	KnL (mm)	BW (g)	GW (g)	GSI	CF
I	27	154.81 ± 43.58*1 (93 − 251)*2	47.94± 9.87	0.09± 0.02	0.19± 0.03	4.45± 0.23
II	161	288.06 ± 23.35 (213 − 334)	122.70±37.47	0.41± 0.18	0.33± 0.09	4.95± 0.66
III	73	288.11 ± 22.65 (209 − 321)	113.50±33.51	0.53± 0.22	0.46± 0.13	4.58± 0.55
IV-1	10	300.70 ± 13.01 (266 − 313)	130.90±21.70	0.87± 0.20	0.67± 0.12	4.77± 0.40
IV-2	8	305.13 ± 9.88 (292 − 321)	131.27±14.51	2.09± 1.04	1.60± 0.76	4.61± 0.38
IV-3	90	312.08 ± 12.13 (270 − 336)	129.50±19.83	3.32± 1.22	2.66± 1.26	4.25± 0.49
V-1	36	312.81 ± 14.58 (269 − 336)	130.36±20.92	5.63± 1.94	4.33± 1.33	4.23± 0.45
V-2	56	307.63 ± 15.12 (253 − 330)	125.21±24.03	5.13± 2.24	4.32± 2.22	4.26± 0.53
VI	98	306.32 ± 14.88 (261 − 340)	126.59±25.15	1.46± 0.77	1.22± 0.79	4.37± 0.62
VII	51	299.69 ± 12.67 (258 − 324)	131.51±25.15	0.67± 0.28	0.51± 0.18	4.83± 0.48
		(328 − 337)	(157.9 − 172.4)	(0.33−1.50)	(0.18−0.95)	(4.47−4.50)

*1average±S. D., *2(Minimum−Maximum).

卵巣断面の中心部に集まり，纏絡糸でお互いにつながっている。中心の完熟卵を取り囲むように未発達な卵が見られ，卵巣膜は成熟期にみられた編目状の模様は消えて，第3次卵黄球期にみられたような斑点状となる。

(7) 成熟度VI

外見は成熟度IV-3に酷似するが，卵径が大きな卵はこれより少なく透明感も薄いため，卵巣膜の斑点状の模様は少なく，吸収とともに不明確となっていく。実体顕微鏡で観察すると，しばしばつぶれたボール状の卵巣卵が観察される。しかし，吸収が進んだ個体では成熟度I，II，IIIおよびVIIの個体との区別は困難である。

5) 成熟体長の推定

産卵個体の体長を明らかにするため，卵巣内に完熟卵または排卵後濾胞を持っている個体の体長を調べた(Fig. 23)。今回採集された個体の中で，成熟期で最小の個体は253mmmであった。しかし，完熟卵をもつ成熟期の個体のうち，体長280mm以下の中型群は3個体のみであり，他は体長281mm以上の大型群であった。

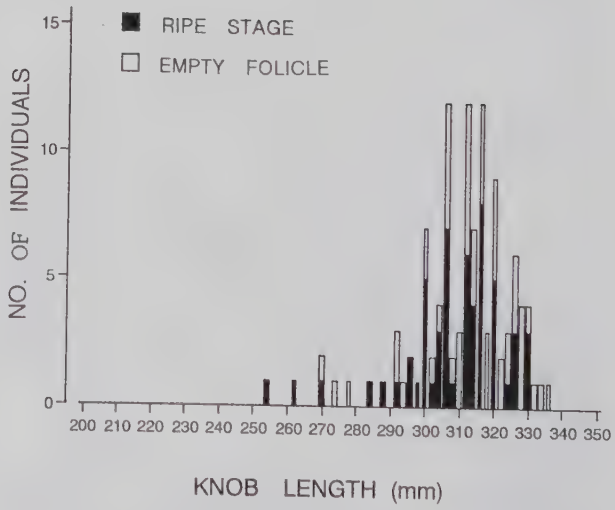


Fig. 23. Size composition of Pacific saury in running spawning phase

また，排卵後濾胞が観察された155個体のうち，6個体は中型群であったが，それ以外は大型群であった。このように，一部の個体は中型群で成熟するが，産卵魚

Table 7. Stage compositon in each maturitty stage

KnL (mm)	Sampling date	Location		Maturity stage	No. oocyte	N	YV1	YV2	Y1	Y2	Y3	M	R	AT I	AT II *
294	Sep. 12 '91	37° 30′	144° 52′	II	156	74	26	—	—	—	—	—	—	—	—
312	Sep. 12 '91	37° 30′	144° 52′	III	250	88	9	2	—	—	—	—	—	—	—
295	Sep. 12 '91	37° 30′	144° 52′	III	179	85	15	1	—	—	—	—	—	—	—
308	Sep. 22 '91	35° 50′	141° 15′	IV−1	242	80	17	3	—	—	—	—	—	—	—
301	Dct. 6 '91	36° 17′	140° 50′	IV−2	178	60	18	3	4	15	—	—	—	—	—
325	Oct. 23 '91	36° 10′	141° 21′	IV−3	147	54	16	10	3	—	16	—	—	—	—
313	Oct. 23 '91	36° 10′	141° 21′	V−1	56	46	14	13	—	14	—	13	—	—	—
305	Oct. 31 '91	36° 15′	141° 46′	V−2	71	65	8	13	4	—	6	—	4	—	—
298	Dct. 6 '91	36° 17′	140° 50′	VI	116	66	17	5	—					11	
301	Dct. 6 '91	36° 17′	140° 50′	VII	88	82	10	2	—	—	—	—	—	—	6

*: N; nucleous stage, YV1; early coryical alveloi stage, YV2; late coryical alveloi stage, Y1; primary yolk stage, Y2; secondary yolk stage, Y3; tertiary yolk stage, M; maturation stage, R; ripe stage, AT I; atretic stage I, AT II; atretic stage II.

の主体は大型群であると推定された。

6）卵巣卵組成および卵径頻度分布

サンマの卵発達の特性を調べるため，卵巣卵組成および卵径頻度分布を調べた。

卵巣卵組成の検討には，成熟度II（卵黄胞前期）以降の6期10個体を用いた（Table 7）。成熟度IV-1（第1次卵黄球期）までは各成熟度の卵が連続して観察されたが，IV-2（第2次卵黄球期）以降は不連続となっていた。V-1（成熟期）の個体では，第一次卵黄球期の卵は観察されなかったが，V-2（完熟期）では第2次卵黄球期を除く全ての発達段階の卵が見られた。成熟度VII（退行期I）では，卵黄胞期の卵と退行期の卵で組成されていた。

卵径頻度分布は，IV-1（第1次卵黄球期）までは0.6mm以下の単峰型であるが，IV-2（第2次卵黄球期）以降は卵型頻度にモードが現れ，IV-3（第3次球期）とV-1（完熟期）では2峰型を示し，さらに完熟期では3峰型を示した。VI（退行期I）では再びなだらかな単峰型を示し，VII（退行期II）では再び0.6mm以下の卵のみとなる（Fig. 24）。

以上の結果より，サンマにおいては卵黄の蓄積が開始すると，その卵群は急速に卵径を増し排卵にいたること，成熟または排卵された卵を持つ個体においても，卵黄形成中の次の卵群が現れることが明らかになった。

7）バッチ産卵数の推定

一回の産卵で産出される卵の数，すなわちバッチ産卵数を推定するために，成熟度が分かっている個体を

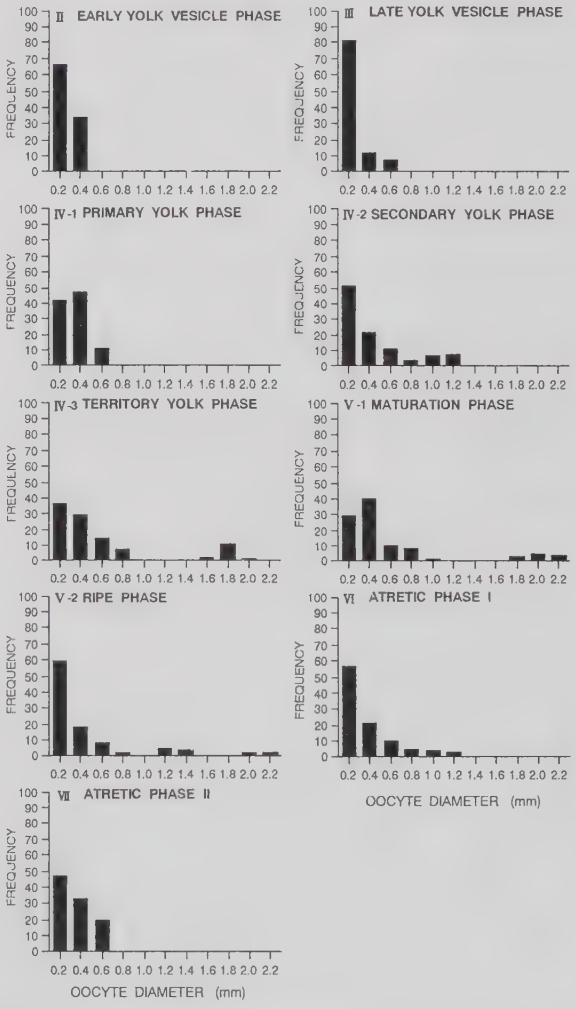


Fig. 24. Oocyte diameter distributions in each stage of maturity of Pacific saury

用いて推定を行った。卵巣卵組成および卵径頻度分布より，成熟度Ⅳ-3（第3次卵黄球期）以降の個体では，産卵される卵は未発達な卵とは明確に区別できる卵群を形成することが示されたため，計数には，体長273～336mmのⅣ-3の51個体を用いた。

成熟度Ⅳ-3期からⅤ-2（完熟期）に至る間に退行卵がほとんど見られないため，この時期に顕著に現れた分離した卵径モードを持つ卵細胞の卵数を，バッチ産卵数とした。なお，Ⅴ-2期の個体では，排卵された卵の一部が体外に出ている可能性が考えられるため，バッチ産卵数の計数は不可能と考え除外した。

計数の結果（Fig. 25），体長273～336mmの51個体の卵巣中には，491～3,920個（平均=1,934.21 S.D.=808.75）の第3次卵黄球期の卵巣卵が存在した。また，排卵後濾胞が観察された個体には成熟期の卵が残っていなかったことから，この数が一回の産卵における産卵数であると推定された。

なお，標本中の最小個体（273mm）の卵数は1,461個，最大の個体（336mm）では3,920個で，計数した標本中では最も多かった。しかし，計数した卵数と体長を直線回帰させたところ，相関関係は認められなかった（r^2=0.128）。サンマでは体長がバッチ産卵数に及ぼす影響は少ないと考えられた。

8）肥満度

成熟に伴う肥満度の推移を明らかにするため，すべてが未熟魚と考えられた中型魚を除き，大型群のみで成熟度と肥満度の関係を比較した（Fig. 26）。その結果，卵黄胞前期では5.73±0.65，卵黄胞後期では5.12±0.38であったが，産卵が近いと思われる卵黄形成期（4.25）および成熟・完熟期（4.35±0.13）の個体では肥満度は低くなり，退行期Ⅰでは5.38±0.10，退行期Ⅱでは5.42±0.38と再び高い値を示した。

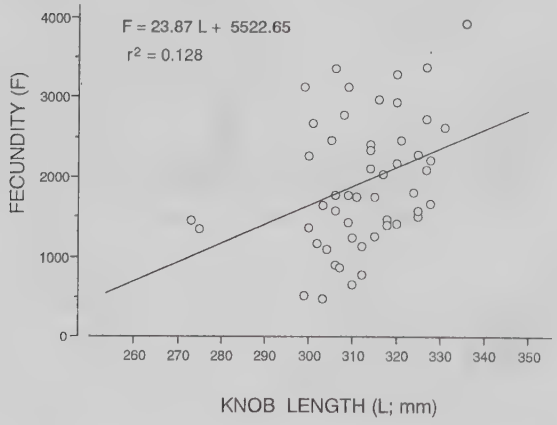


Fig. 25. Relationship between knob length and the number of oocyte in the territory yolk stage

9）成熟度と水温の関係

最後に各成熟期の個体が採集された採集点の表面水温を検討した（Fig. 27）。今回サンマが採集された採集点の表面水温は，8.4～23.6 ℃であった。成熟度Ⅴ

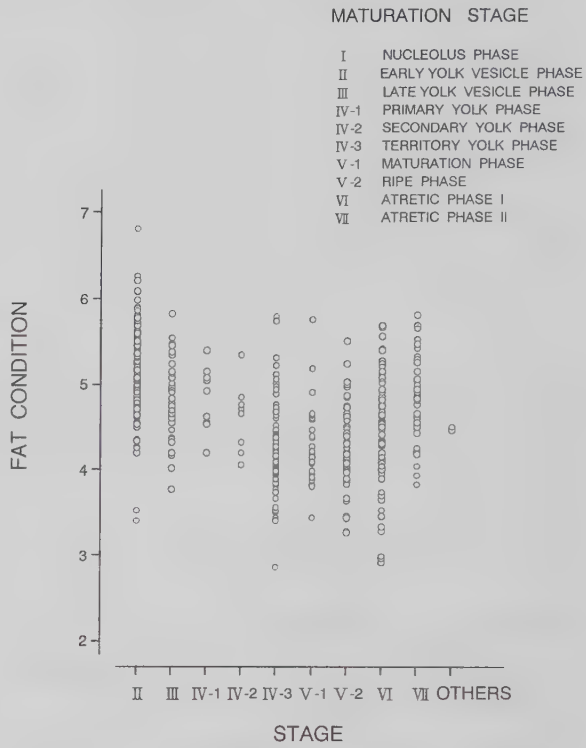


Fig. 26. Relation between stage of maturity and condition factor in female large-size Pacific saury

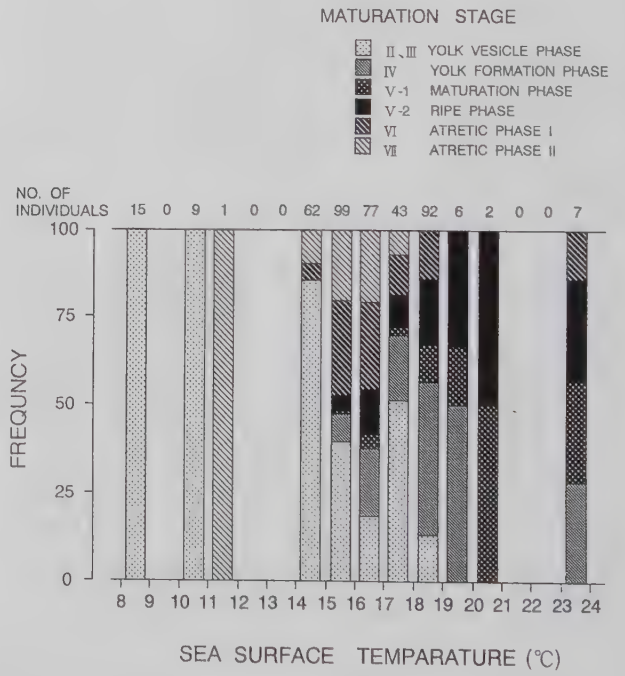


Fig. 27. Relation between sea surface temperature at sampling stations in the central North Pacific Ocean and stage of maturaty

の産卵中の個体は，表面水温が15.2℃から23.3℃で採集された。成熟度Ⅳ以降の個体も15℃台以上の海域で採集されているが，23℃台では成熟度Ⅳ-3（第3次卵黄球期），成熟度Ⅴ（成熟期，完熟期）および成熟度Ⅵ（退行期Ⅰ）の個体が採集された。成熟度Ⅵの個体は14℃台から採集されているが，成熟度Ⅶ（退行期Ⅱ）の個体は11.8℃から17.5℃で採集されている。また，卵黄胞前期と後期の個体は8.8℃から17.1℃の幅広い水温帯で採集されている。

3．考　　察

本章ではサンマの成熟特性を明らかにするため，卵巣の組織学的な観察を行った。その結果，サンマの卵発達様式は典型的な非同期発達型であった。このタイプの卵発達を示す魚種は一般に産卵期が長く，その間にに発達の卵細胞から卵黄形成期への卵の補充が起こることが知られている。今回の観察でも，完熟卵を持った個体の卵巣中には周辺仁期から卵黄胞後期，卵黄が形成され始めたばかりの第1次卵黄球期および卵黄蓄積が進んだ第3次卵黄球期の卵が同時に観察された。ただし，卵巣卵組成，卵径頻度分布とも，未発達な卵から最も発達した卵にかけて，2から3つのモードが認められた。このことから，サンマは一産卵期に数回産卵するタイプであると考えられる。

サンマは一産卵期に複数回産卵するであろうことは，生殖腺の卵径頻度分布，あるいは生殖腺の組織学的観察から，古くから知られてきた（Hatanaka，1956; 久保，1954; Sato，1981; 小坂，1980，1991; 小坂ら，1976)。これらの産卵魚の体長は280mm以上の個体が主体であり，中型群では卵黄胞前期までの個体が主体であったのに対し，大型群では卵黄胞前期以降の各成熟度の個体がみられた。つまり，調査を行った海域では，一般に中型群と言われるサイズから大型群と言われるサイズに達する間に初回成熟に達すると推定された。

サンマの成熟体長については，中型魚と大型魚が主体であることは既に知られている（Hatanaka，1956; 堀田，1960）が，その一方で，日本海（菅間，1957）や駿河湾（堀田，1960）では，体長 200mm前後の個体が産卵を行っていることを報告している。今回の結果では，最も小さな産卵あるいは排卵後濾胞が観察され経産と推定された個体の体長は 253mmであり，小型群以下の個体では全てⅢ（卵黄胞後期）以前であった。そのため，初回成熟は中型群以降に起こると思われ，調査海域では小型の成熟魚は出現しないと考えられた。小型で成熟する個体については，その分布を詳しく調査した上で成熟過程についても年齢や成長とともに詳細な研究が望まれる。

卵黄が形成され始めた卵細胞は急激に径を増し，外見的には透明感を増すようになるため，未熟な卵と容易に区別ができた。成熟度と卵径頻度分布を対応させると，未熟な卵群と卵黄蓄積が進んでいる卵群の，明瞭な2つのモードが見られた。このことからも，サンマでは産卵期に入っても卵黄胞期の卵細胞から完熟卵に向かう卵群が形成され，一産卵期に数回の産卵を行うことがわかる。排卵後濾胞は第2次卵黄球期以降の個体で観察されたことから，排卵が起きた時点で，次に産卵される卵は第2次卵黄球期以降に達していると推定された。したがって，卵径頻度分布に明確な2つのモードが出来た時点で卵の計数を行うこと，計数の際に退行期の個体が混入しないよう注意すること，および排卵が起きた個体では腹部を圧迫した際に卵が搾出されることを注意することによって，サンマのバッチ産卵数は比較的容易に把握できるものと思われた。このバッチ産卵数に関しては，Hatanaka（1956）がその卵数を 300～4,500個，久保（1954）が120～1,720個，小坂（1991）が947～2,547個と報告している。今回の結果では平均2,000程度であり，その範囲は500から4,000程度と推定された。久保の報告に関しては，バッチ産卵数の見積りが若干低いとも考えられるが，いずれの報告でも成熟直前あるいは成熟魚から卵数を計数しており，その計数方法には大きな問題がないと思われる。サンマのバッチ産卵数は，久保（1954）も指摘しているように体長との相関関係は非常に低く，今回の結果（r^2=0.128）では産卵数は体長以外の要因に大きく左右されると思われる。この要因については産卵期，産卵海域，および産卵回数の影響とともに検討する必要があろう。

成熟の主体となっている大型群の肥満度を成熟度ごとに比較すると，Ⅴ-2（完熟期），Ⅵ（退行期Ⅰ），Ⅶ（退行期Ⅱ），Ⅲ（卵黄胞期Ⅱ）の順に増加しており，産卵後の個体で肥満度が回復していることが確認できた。これは，産卵後にも摂餌して生残する個体が存在する可能性が考えられた。産卵終了間際の個体には，卵黄形成中の卵から退行した退行卵が観察された。これは，産卵が終了する間際まで卵形成が継続されるが，産卵終了にともなって発達途上の卵群が退行・吸収されてしまうと推定された。退行卵の出現は，非同期発達型を示す他の魚種，例えばメダカ（Yamamoto and Yoshioka，1964），北米カタクチイワシ *Engraulis mordax*（Hunter and Macewicz，1985），マイワシ *Sardinops melanostictus*（村山ら，1990; Mastuura *et al.*，1991）シマガツオ *Brama japonica*（尹，島崎，1981）でも知られている。これらの退行卵は，最終的

には吸収が進んで確認が出来なくなるものと思われる。メダカでは卵黄形成中の卵が観察されない10月から2月の間の卵巣内組成は，周辺仁期，卵黄胞期および少数の退行卵からなると報告されている（Takano, 1964）。サンマにおいては，大型魚の中に，卵黄胞前期の未熟な成熟度に相当する個体が出現した。これら個体は，産卵後の退行卵や明確な痕跡は認められないが，一部の個体では肥満度も低いことから，産卵を経験した個体である可能性も推定される。

本研究では，卵巣薄板が肥厚し，卵巣中の卵が極端に少ない個体が2個体現れた。この個体は，体長が328および337mmと大型群の中でも大型に属し，生殖腺の状態は明らかに成熟度Ⅰ～Ⅶの個体とは明らかに異なっていた。この2個体は，産卵が終わって卵原細胞から卵黄胞期以降の卵の補給が停止しているか，卵原細胞そのものを使い果たした，産卵を完全に終了した個体であると推定される。しかし，卵巣中には退行卵が観察されず，成熟度Ⅵ（退行期Ⅰ）およびⅦ（退行期Ⅱ）の個体とは異なっていた。産卵が完全に終了した個体は，生殖腺がこのような状態になると推定されるが，この状態の個体はわずか2個体しか現れなかったことから，多くの個体では，卵巣中の卵細胞を使い果たす前に死亡すると推定される。

なお，排卵後濾胞が産卵後も卵巣中に長期にわたって観察される種，たとえばスケトウダラ *Theragra chalcogramma*（尹，1981）などでは，経産魚を卵巣中の排卵後濾胞によって推定できる場合がある。しかし，今回の観察では，完熟期の個体でも排卵後濾胞が観察される割合が低かったことから，本種の排卵後濾胞は，メダカ（香川，高野，1979）や北米カタクチイワシ（Hunter and Macewicz, 1985）などと同じく，産卵後は比較的早い時期に吸収・消失すると推定された。したがって，排卵後濾胞の有無による経産魚の推定は困難であろう。

未熟個体と成熟個体では，採集海域の表面水温に明確な差が認められた。すなわち，成熟した個体は15.2℃以上，特に18℃以上の採集点で多く採集されたが，15℃以下では卵黄胞期および退行期Ⅱのみ採集されている。サンマは，脂質を体腔や腹部普通肉および皮下に蓄えることが知られている（原ら，1982a）。これらの脂質は卵巣の発達，特に卵黄形成に寄与しているため，肥満度が急激に低下すると考えられた。また，サンマは大型群の中でも16～17℃付近を境に高水温域と低水温域で成熟の状態が大きく異なっていることは，高水温域で産卵し海域として，低水温域で活発に索餌し，一部は産卵後の回復のための栄養蓄積の場として利用しているものと推定される。目黒ら（1987）は，亜寒帯海洋前線を横断するよう設定された採集点でサンマを採集し，肥満度および生殖腺重量の南北差を比較したが，南側では肥満度が低く生殖腺重量が高い個体，北側では肥満度が高く生殖腺重量が低い個体が採集され，前者を産卵群，後者を索餌群とみなしている。本研究の結果では，この索餌群の中にも産卵後の退行期の個体が含まれることが示唆され，本種は南側の海域で産卵を行った後に北側海域で索餌し，産卵後の疲弊した状態が回復したのちに南下して産卵する可能性が示された。

第5章　サンマの回遊，成長と成熟の関係

サンマが春季から夏季にかけて北上し，8月から漁獲される個体は南下の途中であることは多くの報告がある（小林ら，1968; 福島，1979など）。福島（1979）は，回遊過程を北上期，南下期および越冬期の3期に分けて，それぞれの魚群の分布，移動と環境条件の関連を述べている。しかし，本種に関する年齢の知見が充分ではなかったため，回遊に伴う成長および成熟の関連は明確になっていない。また，本種では産卵期にいくつかのピークがあることは明らかになったが，各季節ごとに再生産サイクルが独立して，春生まれ群，秋生まれ群などの季節別系統群（堀田，1960）が存在するのかについても，不明である。

そこで，本章では前章までに得られた成長および成熟特性の知見を，海域別，時期別に検討することにより，時空間的にサンマの成長と成熟過程をとらえ，回遊との関係を検討した。そして，サンマの年齢，成長および成熟の関係を包括した生活環を明らかにすることを目的とした。

1．材料と方法

本章で用いた材料は，本研究の第2章から第4章で用いた標本である。すなわち，1991年2月に本州南方海域，1991年6月から12月および1992年5月から12月に本州東方から北海道東方海域，および1991年11月から1992年2月に和歌山県那智勝浦周辺海域で採集された個体である。ここでは，5月から7月に本州東方から北海道東方海域で採集された個体を北上群，9月から12月に同海域で採集された群を南下群，1991年2月および1991年11月から1992年2月に本州南方海域および和歌山県那智勝浦周辺で採集された群を冬季群と便宜的に3つの群に分けて扱った。

耳石日周輪による日齢査定および耳石タイプの区分には，第2章および第3章の結果に従った。

2．結　　果

1）1991年から1992年における採集点の推移

本研究でサンマが採集された採集点の月別推移を検討することにより，この時期におけるサンマの移動を推定した（Fig. 28-A～L)。

1991年2月（Fig. 28-A）には，北緯 35°以南の本州南方海域で採集されているが，6月（Fig. 28-B）には採集点が北に移り北緯 35°以北の海域で採集されている。7月（Fig. 28-C）および9月（Fig. 28-D）には採集点はさらに北上して北緯 40°以北に移ったが，10月（Fig. 28-E）からは南下して北緯 35°付近で再び採集されている。11月（Fig. 28-F）に入ると北緯40°以南で採集され，和歌山県那智勝浦でも採集されている。

1992年6月（Fig. 28-J)，11月（Fig. 28-K）および12月（Fig. 28-L）には，前年の同月とほぼ同様な海域で採集されている。

本研究では，冬季に本州の南方の海域で，夏季に北海道から東方の北方海域で，春季と秋季には本州東方沖でサンマが採集されていた。

2）体長組成の推移

本研究で採集されたサンマの体長組成の経時的変化を見るため，1991年冬季群（本州南方)，1991年北上群，1991年南下群，1991～1992年冬季群（那智勝浦)，1992年北上群，1992年南下群の6群に分けて，体長組成を示した（Fig. 29)。

サンマの体長組成は，280～290mmおよび240mmを境に，一般的に大型，中型および小型などのモードに分けられている（堀田，1960; 松宮，田中，1974）が，本州南方海域で1991年2月に採集された個体はモードが260～270mmの中型に属する群であった。一方，1991年北上群から1991年冬季群までは体長モードが300mm前後にある大型群のみが採集され，その体長組成は単峰型を示した。

これらの体長組成のモードは，1991年の北上期には290～300mmを中心としていたが，南下期には300mm付近，那智勝浦では300～310mmにあり，調査を行った約半年の間にモードの中心は約20mm上がっていた。

3）体長組成と耳石タイプ

体長組成の項で検討した体長組成を，さらに耳石タ

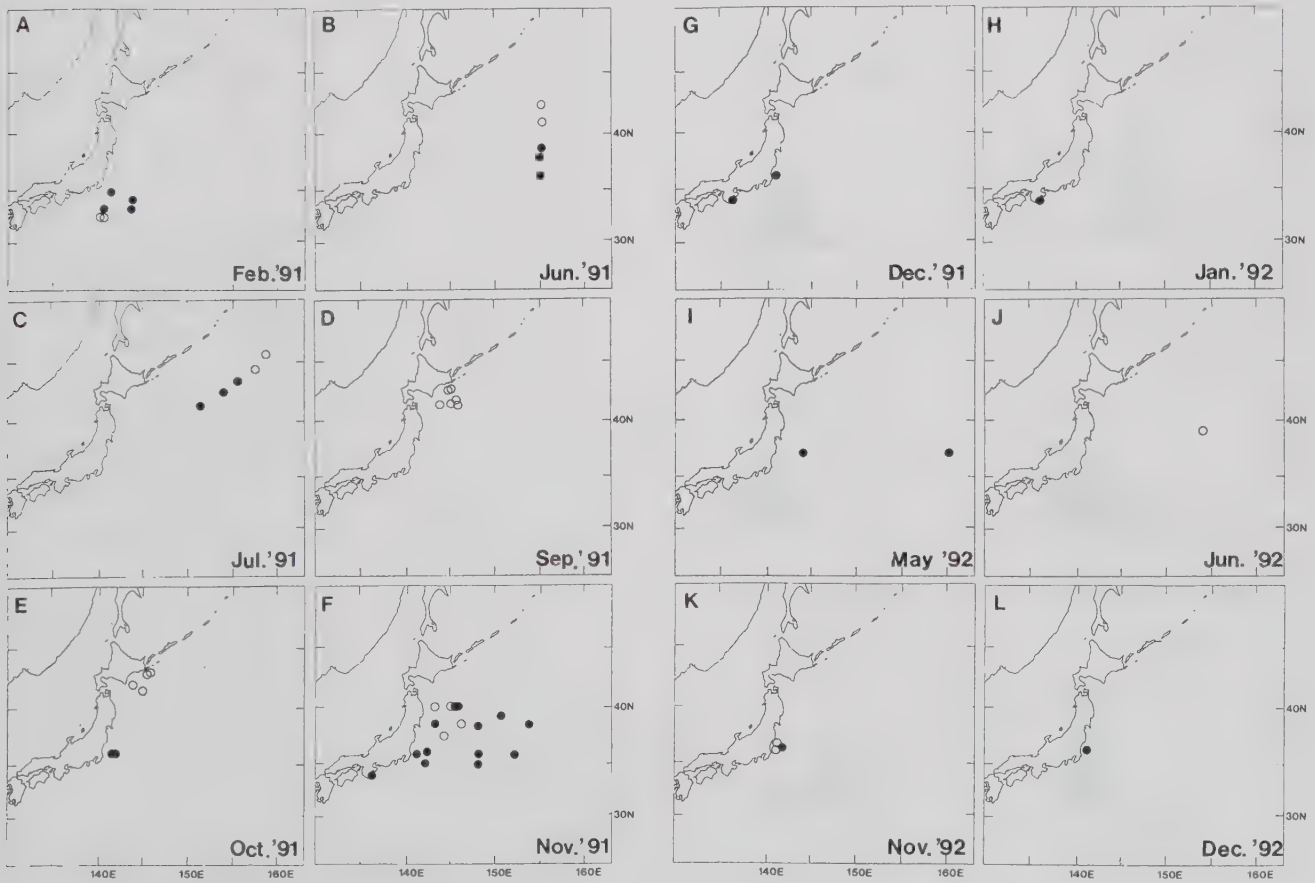


Fig. 28. Sampling locations where the sauries caught. ● show the locations where the running spawning sauries caught.

イプ別に検討した（Fig. 30）。1991年2月にはモードの中心が275～280mmmにあったが，300mm以下の30個体のうち14個体がⅢ'タイプで最も多かった。6月および7月にはモードの中心は290～300mmに現れたが，耳石タイプはⅣタイプが主体となり，6月には33.3%（N=69），7月には52.0%（N=150）であった。11月以降はモードの中心が300mm以上に達し，耳石タイプは2本目の輪紋が形成されているⅣ'タイプが主体であり，11月に57.8%（N=218），12月に74.34%（N=152），1月に63.3%（N=60）であった。

1991年6月から7月の北上期に採集された体長290～300mmにモードを持つ群は，9月以降の南下期および冬季群の耳石がⅢ'タイプを主体とする群と同一であり，10月以降に耳石に2本目の透明帯が形成され始めたものと推定された。すなわち，前項の結果とあわせて，北上期から南下期に大型群はおよそ20mm成長したと考えられた。

なお，1992年の5月から12月の体長組成と耳石タイプの関係も検討したところ（Fig. 31），中型群には11月以降最初の透明帯が形成されているⅢ'の耳石を持つ個体が，11月に71.1%，12月に76.1%現れた。この時期に，体長280mm以下の個体には，最初の透明帯が形成されることが明らかになった。

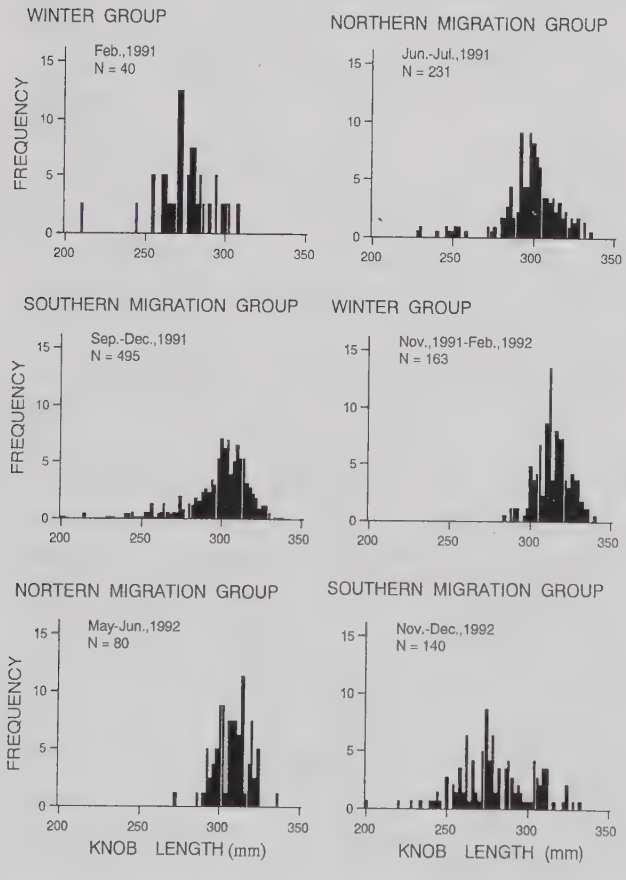


Fig. 29. Change of the size compositions from February 1991 to December 1992

4）体長組成と成熟度

季節ごとの体長組成と成熟度の関係を明らかにするため，1991年2月から1992年1月（Fig. 32）および1992年5月から12月（Fig. 33）にかけての体長組成と成熟度を検討した。

1991年2月から1992年1月の体長組成と成熟度を見ると，2月には成熟度を調べた15個体のうち体長250mm以上の13個体全てが成熟度Ⅳ（卵黄形成期）から成熟度Ⅵ（退行期Ⅰ）の個体であった。6月および7月には成熟度Ⅴ（産卵期）の個体は281mm以上の個体に現れたが，この月には成熟度Ⅱ（卵黄胞前期）から成熟度Ⅶ（退行期Ⅱ）の個体まで含まれていた。6月の42個体および7月の79個体における成熟度Ⅴはそれぞれ19.0%，17.7%，成熟度Ⅵ 19.0%，1.3%，成熟度Ⅶは16.7%，0%であった。9月（N=77）には成熟度Ⅱの卵黄胞前期，すなわち未熟な個体が最も多く63.3%に達しており，次いで成熟度Ⅲ（卵黄胞後期）7.8%，成熟度Ⅵ（退行期Ⅰ）および成熟度Ⅶ（退行期Ⅱ）が1.3%で各1個体であった。そして，10月から産卵中の成熟度Ⅴの個体の割合が増加し，10月は3.9%（N=51），11月に20.1%（N=139），12月32.8%（N=58），そして1992年1月には28.0%（N=25）であった。また，1月にはすべての個体が成熟度Ⅳ（卵黄形成期）から成熟度Ⅵ（退行期Ⅰ）であった。

1992年5月～11月の体長組成と成熟度の比較では，5月には採集された284mm以上の個体は成熟度Ⅳ～Ⅶであり，全てが産卵直前から産卵後の個体であった。一方，6月に採集された個体は，全てが300mm以上であったにもかかわらず，1個体を除いて成熟度ⅡまたはⅦであった。11月以降には，大型群のほか中型群でも産卵または産卵中の個体が現れ，11月には，体長267mmの個体が1個体のみ成熟度Ⅵであり，12月には中型群のうち成熟度Ⅳが1個体，成熟度Ⅵが2個体，そして成熟度Ⅶが4個体であった。

5月～7月の北上期には，大型群の多くが卵黄形成中から産卵後であったが夏季には未熟な状態になっていた。10月以降の南下期には，卵黄形成中から産卵後の個体の割合が再び増加しており，この時期には中型群の一部も成熟を開始していた。

5）成熟と耳石透明帯の関係

前章までに，透明帯が主に冬季を中心に形成されることが明らかになっている。しかし，その一方でこの時期以外にも透明帯が形成されている個体が存在する。

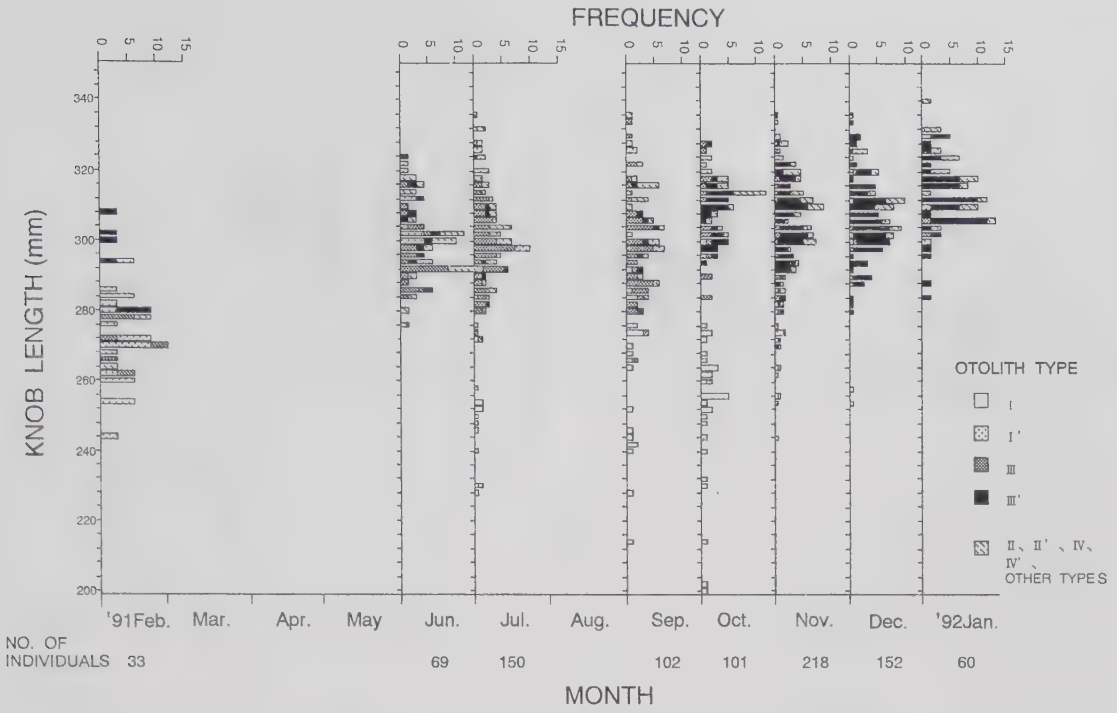


Fig. 30. Monthly change in size composition and occurrence of type Ⅰ, type Ⅰ', type Ⅲ, and type Ⅲ'otoliths in Pacific saury in the western North Pacific Ocean from February 1991 to January 1992

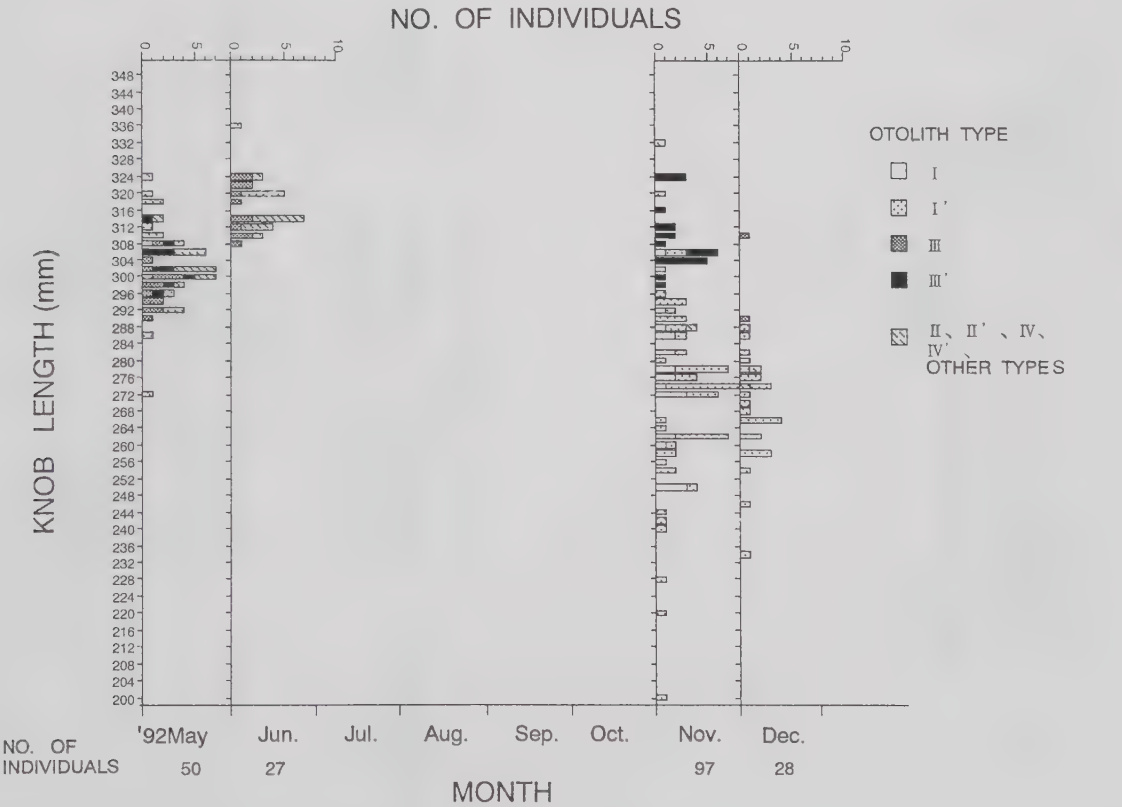


Fig. 31. Monthly change in size composition, and occurrence of type Ⅰ, type Ⅰ', type Ⅲ and type Ⅲ' otolith in Pacific salary in the Western North Pacific Ocean from May to December in 1992

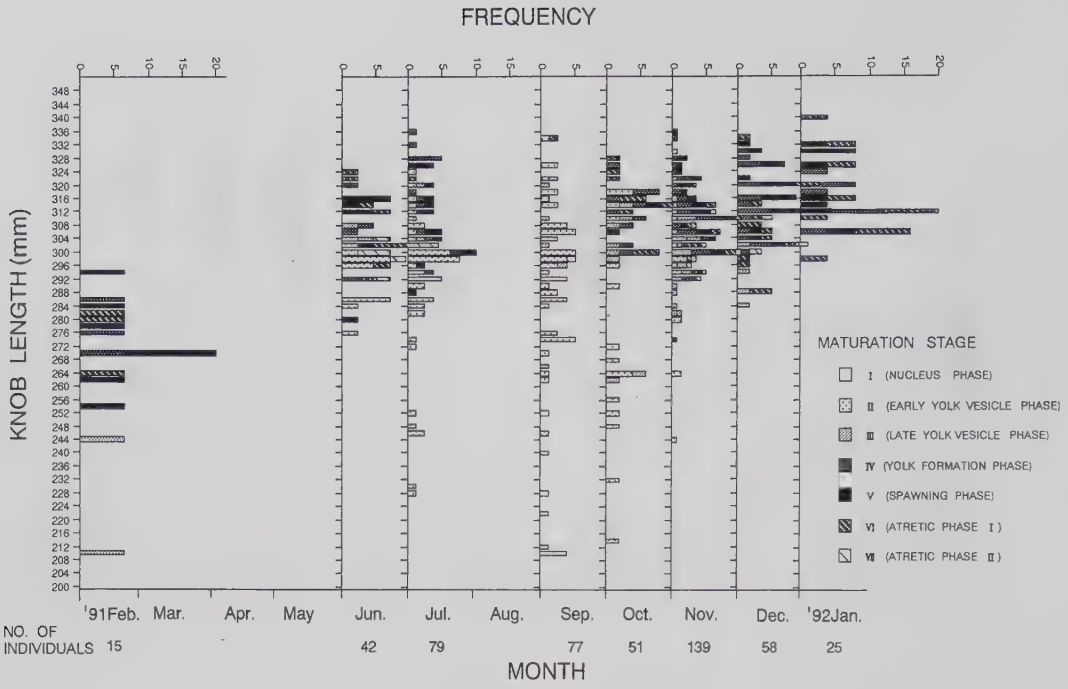

FREQUENCY
KNOB LENGTH (mm)
MATURATION STAGE
I (NUCLEUS PHASE)
II (EARLY YOLK VESICLE PHASE)
III (LATE YOLK VESICLE PHASE)
IV (YOLK FORMATION PHASE)
V (SPAWNING PHASE)
VI (ATRETIC PHASE I)
VII (ATRETIC PHASE II)
'91Feb. Mar. Apr. May Jun. Jul. Aug. Sep. Oct. Nov. Dec. '92Jan.
NO. OF INDIVIDUALS 15 42 79 77 51 139 58 25
MONTH

Fig. 32. Monthly change of size composition, maturity stage from Febrary in 1991 to January in 1992

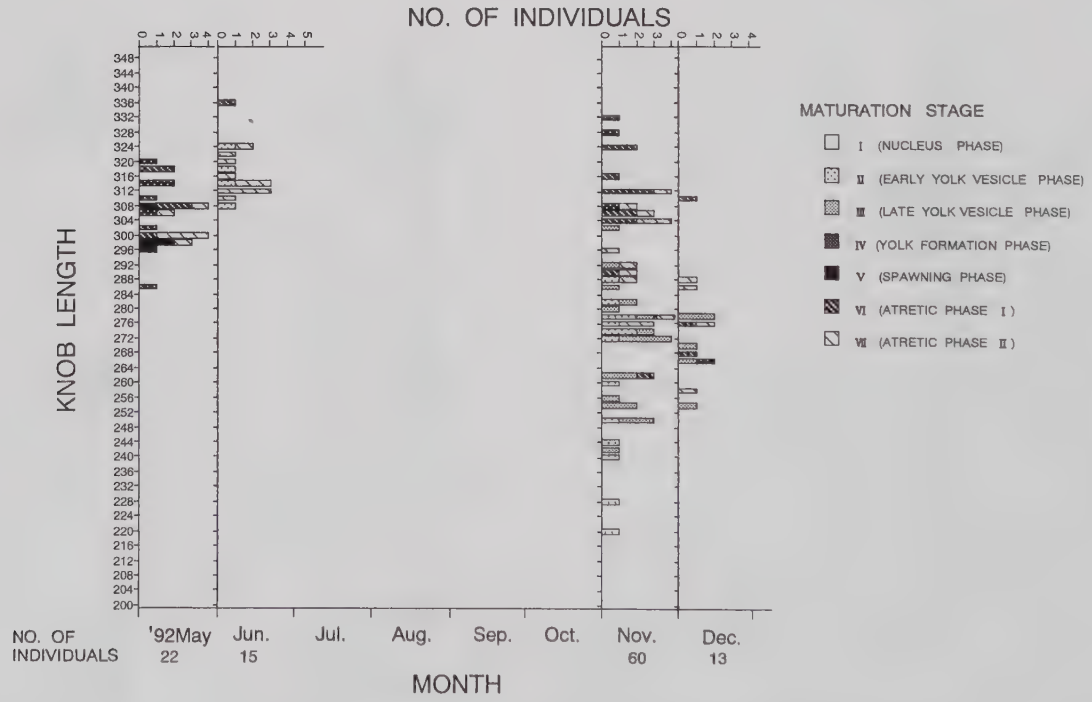


Fig. 33. Monthly change of size composition, maturity stage from May to December in 1992

そこで，耳石透明帯形成要因として，季節的要因以外に考えられる成熟と耳石透明帯の形成と成熟との関係を調べた。

そのため，産卵の中心となっている大型群について，成熟度Ⅲ，Ⅳ～Ⅴ，ⅥおよびⅦの４段階に分け，それぞれ月ごとに耳石の各タイプの割合を比較した（Fig. 34)。その結果，どの成熟段階でも12月から２月には，いずれも80%以上の個体に透明帯が形成されていた。

さらに，生殖腺重量および肥満度と透明帯の形成の関係を検討した。その結果，生殖腺重量または肥満度の大小にかかわらず，耳石縁辺部に透明帯が観察される個体とされない個体が出現した（Fig. 35)。

このように，成熟と耳石透明帯の形成の間には明確な関係はないと思われた。

6）産卵海域とその水温

各月ごとの産卵海域およびその海域の水温を検討するために，1991年にサンマが採集された採集点（Fig. 28）および月ごとの成熟度と水温の関係を示した（Fig. 36)。

1991年の２月には，北緯35°以南の南方海域で産卵中の成熟度Ⅴの個体が採集され，採集点の表面水温は16.7～17.7℃であった。北上期の６月および７月には，サンマが採集された採集点は北に移り，それぞれ北緯36.2度および40.0度以北であった。また，各月の採集点の南側の採集点で産卵魚が採集されており，その水温は15.5～18.4℃であった。９月には北海道近海の水温14.3～16.4℃の海域で採集を行っているが，産卵中の個体は出現しなかった。10月以降では，北緯35度付近の水温18度台の高水温域で採集された標本中に，ふたたび産卵中の個体が出現した。11月には本州東方で採集を行った16点のうち12点で成熟度Ⅴの個体が出現し，その表面水温も15.2～23.4℃の広範囲にわたった。また，11月から那智勝浦周辺でもサンマが採集されて

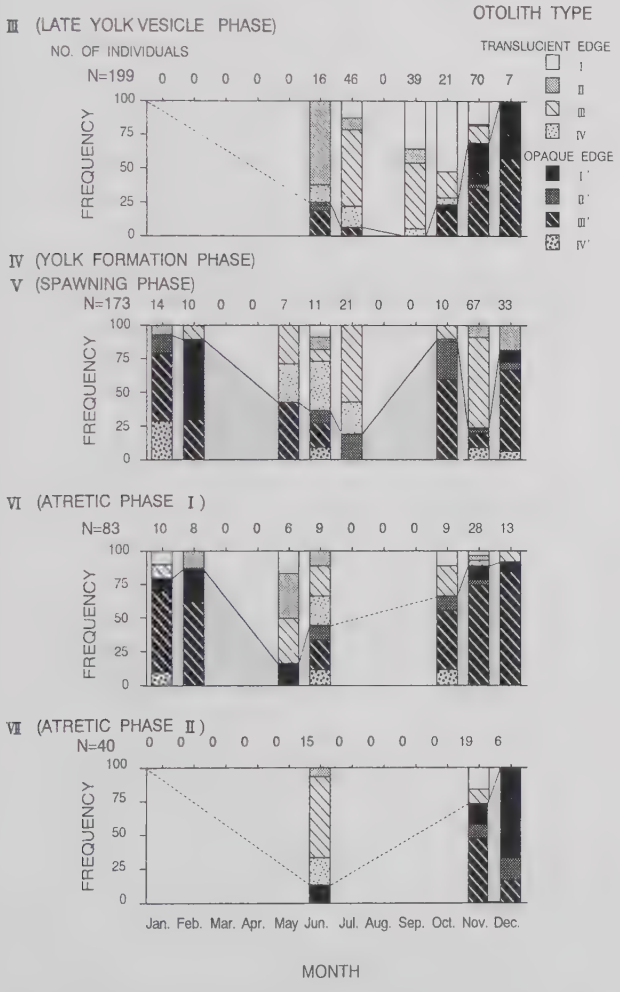


Fig. 34. Monthly change of maturity stage in each otolith type

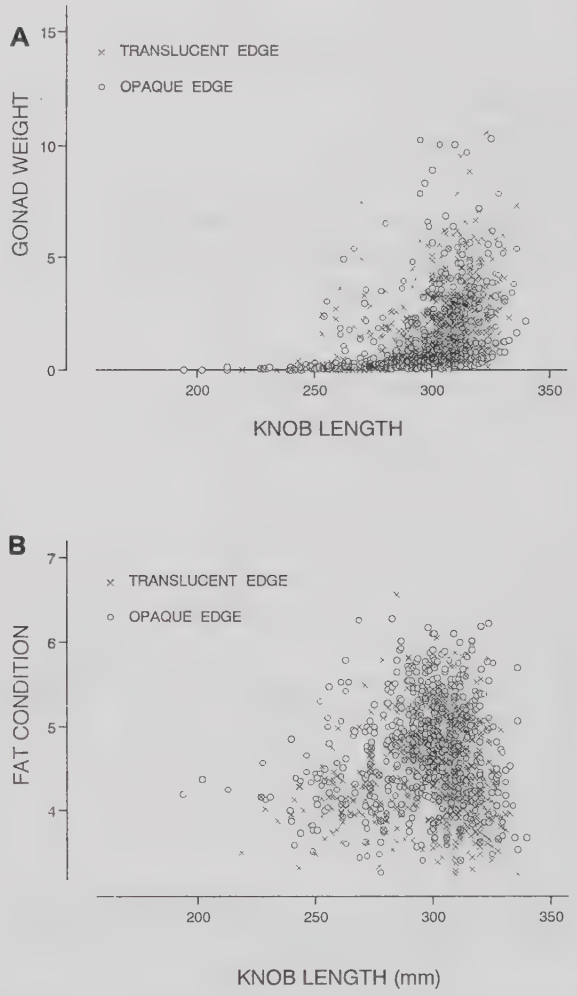


Fig. 35. Examination of a formation factor of otolith hyaline zone. **A**, Relationship between the condition of otolith edge and gonad weight. **B**, Relationship between the condition of otolith edge and fat condition.

いる。12月は茨城県沖の1点（表面水温16.0℃），および那智勝浦で採集を行っているが，いずれも産卵中の個体が採集されている。

7）日齢と成熟度

最後に，成長と成熟の関係を検討するために，日齢と成熟度を対応させた（Fig. 37，Table 8）。北西太平洋で日周輪が計数できた35個体のうち，体長210～302mmの16個体が雌であり，その成熟度はⅠ（周辺仁期）からⅦ（退行期Ⅱ）にわたっていた。

これらを，ふ化時期に対応させると（Fig. 38），体長292mmの産卵期（成熟度Ⅴ）の1個体は、日齢が554（18.5ヵ月）で前年（1990年）の2月に生まれたと推定された。また，成熟度Ⅳ（卵黄形成期）の個体も301mmの個体では，日齢は545（18.1ヵ月）であり，そのふ化時期は前年の1月であった。また，退行期（成熟度ⅥまたはⅦ）の個体は，体長が302～304mmであり，日齢は551（18.4ヵ月）～601（20.0ヵ月），ふ化時期は前々年（1989年）の10月から前年の2月であった。これ以外の大型群は成熟度Ⅱ（卵黄胞前期）であった。

一方，前年の8月以降に生まれた261mm以下の個体の成熟度はⅠまたはⅡであり，すべてが未熟な個体で日齢は最高で500（16.6ヵ月）であった。

このように，産卵を行っている個体は前年の2月以前に生まれたふ化後1年半以上を経過した個体と推定された。また、産卵中の個体の年齢が1.5歳以上である点については、中部北太平洋における結果と同様であった。

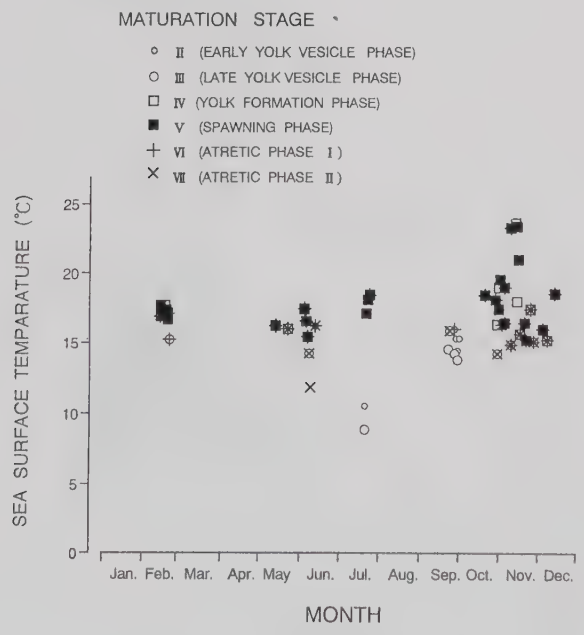


Fig. 36. Monthly changes of sea surface temperature at the sampling locations where Pacific sauries were caught, and stage of maturity of female Pacific saury

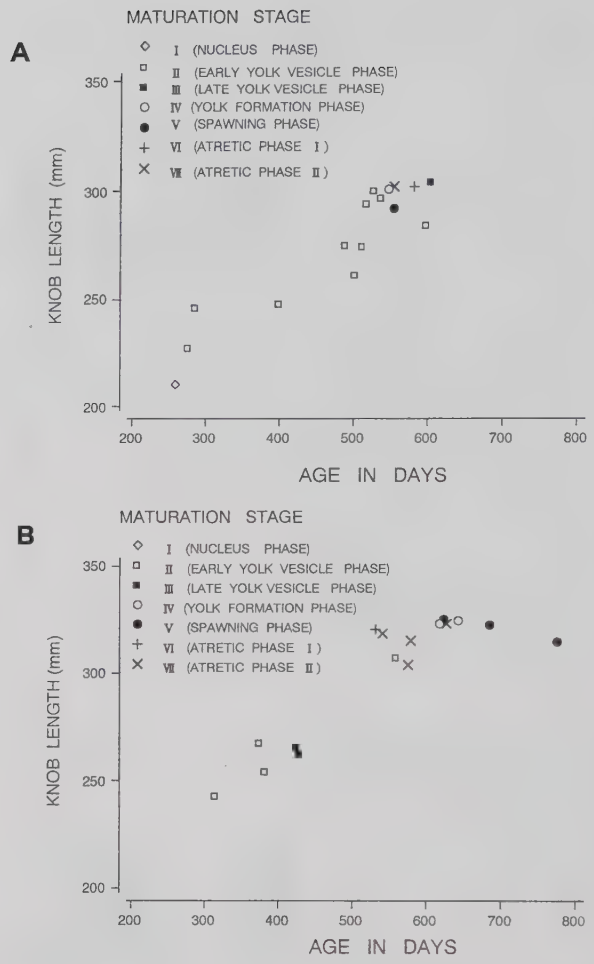


Fig. 37. Age in days, knob length, and stage of maturity of female Pacific saury. **A**, wesrtern North Pacific in 1991; **B**, central North Pacific in 1989.

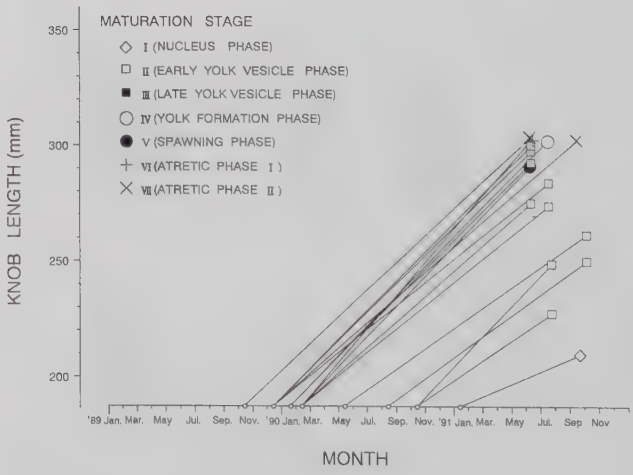


Fig. 38. Estimated month of hatching, knob length, and stage of maturity of female Pacific saury in wesrtern North Pacific in 1991

Table 8. Relationship between agen in days, maturation stage, in the central and western North Pacific

Central and western North Pacific

Sampling date	Knob length (mm)	No. increments	Estimated age in days	maturity stage
Jul. 31 '89	243	319	312	II
Jul. 30 '89	254	387	381	II
Jul. 31 '89	262	430	426	III
Jul. 30 '89	265	428	422	III
Jul. 31 '89	267	377	372	II
Jul. 21 '89	304	580	574	VII
Jul. 31 '89	307	565	558	II
Jul. 27 '89	314	781	775	V－1
Jul. 20 '89	315	584	578	VII
Jul. 31 '89	318	546	540	VII
Jul. 30 '89	320	536	530	VI
Jul. 27 '89	322	690	685	V－2
Jul. 31 '89	323	624	617	IV－1
Jul. 21 '89	323	632	626	VII
Jul. 30 '89	324	647	641	IV－3
Jul. 27 '89	325	628	622	V－2

Western North Pacific

Sampling date	Knob length (mm)	No. increments	Estimated age in days	maturity stage
Sep. 25 '91	210	265	259	I
Jul. 23 '91	227	280	275	II
Jul. 23 '91	246	291	285	II
Oct. 2 '91	248	403	398	II
Oct. 2 '91	261	503	500	II
Jul. 22 '91	274	514	509	II
Jun. 9 '91	275	496	486	II
Jul. 22 '91	284	602	596	II
Jun. 10 '91	292	560	554	V－1
Jun. 9 '91	294	524	516	II
Jun. 9 '91	297	541	535	II
Jun. 8 '91	300	531	525	II
Jul. 26 '91	301	550	545	IV－3
Sep. 25 '91	302	586	581	VI
Jun. 8 '91	302	560	554	VII
Jun. 8 '91	304	606	601	II

3．考　　察

本研究の結果，漁期が始まっている９月以降に採集された個体のうち，大型群と称される体長280mm以上の個体には，耳石の透明帯が１本形成されていた。そして，漁期が始まる前の６月には，体長モードが300mmよりやや小さい群には既に透明帯が１本形成されていたことから，この群が漁期中に大型群として現れると考えられた。さらにこの群は，６月にその日齢が 500～550日すなわち1.5歳程度であること，そして産卵中の個体を含んでいたことから，本種は成熟までにおよそ１年半を要すると考えられた。一方，９月に

は産卵中の個体が出現せず，大型群の成熟度は過半数がⅡ（卵黄胞前期）であった。これは，産卵後に生じた退行卵が，北上海域での索餌期にはほとんど完全に吸収され，卵巣中は卵黄胞期以前の卵細胞のみになるためと考えられた。

一方，中型群と称される体長240～280mmの個体の耳石には，9月にはその耳石に透明帯が観察されなかった。そして，11月以降にこの群にも産卵中あるいは産卵後の個体が現れること，また前章で産卵魚の主体は体長280mm以上であると推定されていることから，秋季に入ってから中型群は初回成熟を迎え，その時点での年齢はおよそ1.5歳であると考えられる。すなわち，大型群と中型群では，ふ化時期および初回成熟の時期がおよそ半年ずれているものと考えられた。

福島（1979）によれば，サンマ群は4月頃から黒潮勢力の増加とともに北上し，夏季に千島東方海域で索餌してから8月上旬から南下を開始し，8月以降の漁期に漁獲されることを述べている。この回遊様式は，本研究で示された体長組成や耳石タイプの解析からも矛盾していない。

南下期初期の9月には卵黄胞前期の個体が主体で卵黄形成中の個体が現れなかったのに対して，10月以降では卵黄形成期から退行期までの個体が出現している。これは，卵黄形成が始まって産卵までの期間が非常に短いか，あるいは今回の調査海域の外側から経産の個体が加わったという2つの可能性が考えられる。しかし，8月から9月にはサンマの産卵水準が低いことが知られており（深滝，1959; 小達，1956a，1962a; 林，小達，1981; Watanabe and Lo，1989），10月になってそれ以前に産卵を行った個体が，調査海域の外側から加わったとは考え難い。したがって，卵黄蓄積の開始から産卵まではおそらく1～2ヵ月以内であろうと思われる。

本研究を行った西部北太平洋においては，11月以降に中型群および大型群といわれる群が同海域で産卵していると考えられる。そして，南下回遊は成熟が進んだ個体および大型の個体が先行することが知られている（福島，1979）。本研究においてもその傾向は見られたが，大型群と中型群の成熟時期に若干のずれがあるにしても，両群は同時期に同海域で産卵を行う可能性が高く，堀田（1960）が述べているように，春生まれた群と秋生まれた群が互いに系群として独立する可能性は低いと考えられる。これは，サンマの集団遺伝学的研究から，両群に大きな差がないとする結果（Numachi，1971; 原ら，1982c）からも矛盾せず，独立した再生産サイクルがあるとは考え難い（Fig. 39）。

一方，冬季におけるサンマの分布の知見としては，千葉県から四国沿岸の定置網でサンマが漁獲されていること（木村，1956b），和歌山県の沿岸定置網では240～340mmの個体が漁獲され，12月～2月にかけて産卵するとみなされており（阪本ら，1989），この海域での漁獲量は東北海区のサンマ漁獲量と相関が高いこと（小坂，丹野，1984）などが知られている。さらに，冬季の黒潮以北の低水温域ではサンマがほとんど見られ

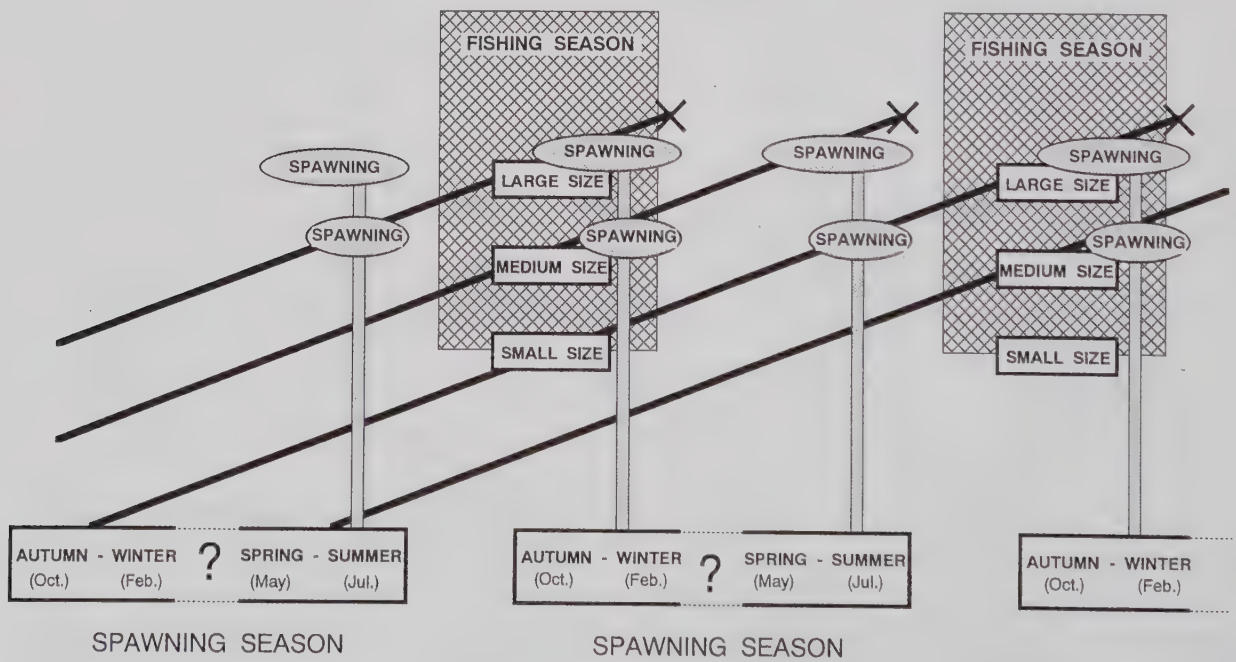


Fig. 39. Diagrammatic representation of the life history of Pacific saury which presumed in this study

ないこと（福島，1979），逆に黒潮周辺から反流域で稚魚が多数採集されること（福島ら，1990）等が報告されている。以上の既往の知見からも，本種は冬季間黒潮が影響する海域に南下しており，それよりも北の海域には分布していないことが想定される。本研究においても，1991年2月に北緯35°以南の海域で，1991年11月から1992年2月には和歌山県那智勝浦周辺海域で本種を採集できたが，これらはすべて産卵中もしくは産卵直後であった。このうち，1991年2月に採集された標本は，モードが260～270mmにあり，耳石には1本目の輪紋が形成中または形成後の個体であった。これらの個体は，漁期中に耳石に透明帯が観察されなかった中型群に，11月以降1本目の透明帯が形成されたと考えられる。一方，1991年11月から翌年2月に那智勝浦周辺で採集された群は，モードの中心が310mmを越えていること，耳石に2本目の透明帯が形成されているⅢ'タイプであったことから，これらは漁期中の大型群であろうと思われる。なお，例年この海域では体長300mm以下の個体が主体となっている（阪本，私信）。しかし，1991年は漁期中の漁獲物に大型群が85%以上を占めた特異な年であり（東北区水産研究所，1992），那智勝浦で体長300mm以下の個体が非常に少なかったのも，小坂，丹野（1984）が指摘しているように，熊野灘と東北海区の漁獲の関連性を示していると考えることもできる。これら冬季に採集された個体は，すべて産卵直前から産卵直後であり明らかに未熟である個体が出現しなかったことが，顕著な特徴であった。

なお，第2章において中部北太平洋と西部北太平洋のサンマ群の日周輪による日齢査定の結果を比較し，両海域ではその成長に大きな差がないことが示唆された。同時に成熟に関しても，両海域とも夏季の中型群は未熟で大型群が経産魚である点で一致しており，日本海等で一部見られる小型で成熟する群（菅間，1957; 堀田，1960）を除き，中部から西部北太平洋でのサンマの年齢，成長およびその成熟には大きな差がないと考えられた。小達（1977）は，東経160°を境として西側を北西太平洋群，東側を中央太平洋群として一応分けているが，アイソザイムによって日本近海に来遊するサンマをいくつかの群に分けその移動を追跡した報告（原ら，1982b, 1982c; 木島ら，1984）や，寄生虫Pennella sp.の寄生状態から移動経路を推定した結果（Nagasawa *et al.*, 1985; 小坂ら，1985; 渡辺ら，1985）では，いずれも東経160°以東の沖合に分布する群が日本近海にも来遊する可能性を示している。以上のことから，少なくとも東経175°以西の太平洋においては，サンマの群構造は分離できないと考えられ，広範囲で回遊し，生殖的に混合している可能性は高いと推定される。

今回の結果では，北上期，南下期および冬季のいずれの時期にも産卵中の個体が採集された。採集を行わなかった3月，4月以外では，9月を除く全ての月で産卵していることが，組織学的に裏付けられた。これらのサンマの産卵期に関しては，堀田（1960），小坂（1991）および本研究で想定されたように年2回のピークがあるのか，あるいは Watanabe and Lo（1989）が報告したように冬季が産卵のピークであるのかについて，明確な結論は出せなかった。本研究では，12月から翌年2月までに本州南方海域および那智勝浦周辺で採集された個体の成熟度はⅣ～Ⅵであり，産卵中から産卵直後であった。しかし，那智勝浦で採集された標本は12月から2月にかけて退行期の個体の割合が増加していた。この時期が Watanabe and Lo（1989）による冬季の主産卵期であたるのか，あるいは堀田（1960）や，小坂（1991）による秋季から冬季の産卵期の終了時期にあたるのかは，3月および4月の標本が入手できなかったために明らかではない。また，この他の海域にサンマが分布しているのか，またその場合には成熟状態についても問題となってくる。また，本研究では標本を採集した方法が一様ではなく，その採集海域もサンマの分布からみるとごく一部であるため，本研究で示した月別の成熟度の割合が，その月のサンマ全体の成熟度の割合を表していると考えることには問題があろう。これまで，サンマの産卵水準については稚魚の豊度（深滝，1959; 小達，1962a; 林，小達，1981; Watanabe and Lo，1989），あるいは生殖腺重量の季節的変化（小達，1956a）のみから行われている。今回の組織学的手法は，標本の解析には手間がかかるが，その反面，生殖腺重量やGSIのみではわからない卵黄形成開始直後や産卵の終了直後の個体を正確に見分けられることが示された。この手法によって，さらにサンマの産卵期および成熟開始と産卵終了の機構について詳細な研究が可能であることが示され，今後は光周期や水温変化などの外部環境の変化との関連を明らかにすることが必要であろう。

福島ら（1990）は，漁期中の大型群，中型群および小型群がそれぞれ1歳以下であり，それぞれ前年の秋，当年の冬および春にふ化した群であると考えている。そして，現在北西太平洋のサンマの資源予測は，福島ら（1990）が考えている体長群と発生時期の関係に基づいて行われている（渡辺，1990）。しかし，本研究の結果，耳石日周輪や透明帯からは1年で大型に達するとは考え難いことが示された。今後のサンマの資源予測の方法についても，今後再検討の必要があると考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり，本研究を通して終始懇切なる御指導と御鞭撻を賜り，本論文の御校閲の労をとられた元北海道大学水産学部教授島崎健二博士および麦谷泰雄博士，現北海道大学小城春雄教授ならび桜井泰憲助教授に対し，心からの感謝の意を表します。

また，本研究をまとめるための貴重なお時間を頂き，心身ともに御協力を惜しまれなかった，元国際農林水産業研究センター所長貝沼圭二博士，および元水産部長福所邦彦博士ならびに職員の皆様に謝意を表します。

研究を行った当時の東北区水産研究所資源部第一研究室室長であった渡辺良朗博士（現東京大学海洋研究所），北川大二博士（現東北区水産研究所八戸支所），大関芳沖博士（現中央水産研究所），および研究員高橋章策氏，高橋祐一郎氏（現農林水産政策研究所），元和歌山県水産試験場故阪本俊雄氏，北海道立釧路水産試験場本間隆之氏（現中央水産試験場），茨城県水産試験場二平 章博士には，サンマの採集に際して多大なご協力頂き，また有益なご助言を多数いただきました。なお，耳石の日周輪の観察に関しては，遠洋水産研究所西村 明博士（現北海道区水産研究所）に適切な御助言をいただきました。謝意を表します。

北海道立釧路水産試験場北辰丸，北海道教育庁実習船管理局若竹丸および北海道大学水産学部練習船北星丸の船長ならびに乗組員一同の方々には標本の採集にあたって，多大な御協力を頂きました。本研究を進めるにあたり，北海道大学水産学部北洋研究施設の服部努博士（現東北区水産研究所八戸支所），山村織生博士（現北海道区水産研究所）をはじめ，大学院生諸氏には適切な御助言を頂き，試料の解析や標本の測定にあたり御協力を頂きました。以上，記して感謝申し上げます。

引用文献

相沢幸男，1967: サンマの鰭条数．東北水研研報，**27**, 11-20.

深滝 弘，1959: 日本海産重要魚類卵・稚仔の周年にわたる出現および生態について－Ⅱ．日水研研報，**7**, 17-42.

福島信一，1979: 北西太平洋系サンマの回遊機構の綜観的解析．東北水研研報，**41**, 1-70.

福島信一，1981: サンマ卵についての既往知見の総括．昭和55年度漁業資源研究会議議事録，第13回浮魚部会議事録, 74-85.

福島信一，渡辺良朗，小川嘉彦，1990: 北西太平洋におけるサンマの季節別発生群と大型魚，中型魚，小型魚との対応．東北水研研報，**52**, 17-27.

原 素之，伊藤孝一，秦 満夫，1982a: サンマの各組織における脂質の特性．東北水研研報，**44**, 25-32.

原 素之，木島明博，藤尾芳久，1982b: サンマ群のアイソザイムによる集団遺伝学的研究．東北水研研報，**45**, 1-18.

原 素之，木島明博，藤尾芳久，1982c: 日本近海および沖合に分布するサンマ群の集団構造に関する遺伝学的研究．東北水研研報，**45**, 19-32.

Hatanaka M., 1956: Biological studies on the population of the saury, *Cololabis saira* (Brevoot). *Tohoku J. Agr. Res.*, **6**, 227-268.

服部 努，桜井泰憲，島崎健二，1992: マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式．日水誌，**58**, 1203-1210.

林 小八，小達 繁，1981: サンマ仔魚の分布様式について．日水誌，**47**, 705-712.

林 泰行，1976a: 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究－Ⅰ．年齢表示形質としての耳石の検討．日水誌，**42**, 1237-1242.

林 泰行，1976b: 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究－Ⅱ．耳石による年齢と成長の推定．日水誌，**42**, 1243-1249.

堀 義彦，高橋 惇，田村和子，1969: 終漁期のサンマについて Ⅰ．卵巣に関する二・三の観察．茨城水試研報，昭和43年度, 9-17.

堀田秀之，1960: 鱗・耳石によるサンマのポピュレーション構造の分析とその成長．東北水研研報，**16**, 41-64.

堀田秀之，1964: サンマ資源，水産資源保護協会，東京，96pp.

Hubbus C. L. and Wisner R. L., 1980: Revision of the saury (pisces, Scomberesocidae) with descriptions of two new genera and one new species. *Fish. Bull. U. S.*, **77**, 521-566.

Hunter J. R. and Macewicz B. J., 1985: 多回産卵魚における産卵頻度の算定（渡辺良朗，辻 祥子訳）「総産卵量による浮魚類の資源量推定法－北米カタクチイワシへの適用－」(Lasker R.,編)，東北区水産研究所（1989），pp.147-178.

今井義弘，1993a: 北海道東部沖合における耳石型からみたサンマの耳石と鱗の特性．北水試研報，**43**, 1-10.

今井義弘，1993b: 北海道東部沖合におけるサンマの体長，肥満度，成熟度．北水試研報，**43**, 11-24.

香川浩彦，高野和則，1979: メダカの排卵前後におけ

る卵濾胞，特に顆粒膜細胞の電顕ならびに酵素組織学的観察．北大水産彙報，**30**, 191-204.

木島明博，原　素之，藤尾芳久，1984: サンマ群の集団構造および回遊経路についての遺伝学的研究．東北水研研報，**46**, 39-52.

木村喜之助，1956a: 標準体長として測るべき魚体の部位に就いて．東北水研研報，**7**, 1-11.

木村喜之助，1956b: 定置網のサンマに就いて．東北水研研報，**7**, 184-238.

小林　喬，若生　允，内藤政治，1968: サンマの生活史に関する研究（第Ⅰ報），秋生まれ系統群の成魚の集合特性について．北海道立水産試験場報告，**9**, 1-45.

小西芳信，1981: 南西海区におけるサンマ卵の採集について．昭和55年度漁業資源研究会議議事録，第13回浮魚部会議事録，85-89.

小坂　淳，1979: サンマの年齢・成長について（要旨）．第11サンマ及びサバ共同研究会議経過報告，水産庁研究部，118-122.

小坂　淳，1980: サンマの卵巣卵についての若干の知見．第29回サンマ研究検討会議議事録，昭和54年度，94-97.

小坂　淳，1989: サンマの成長と再生産を中心とした生活史の概要．第37回サンマ研究討論会報告，昭和62年度，189-203.

小坂　淳，1991: 北太平洋におけるサンマの生活史とそれに基づく資源変動の考察．学位論文，東北大学，仙台，113pp.

小坂　淳，白土悦子，石田力一，1976: サンマの卵巣卵の発達について．第25回サンマ研究会議議事録，昭和50年度，102-104.

小坂　淳，丹野信一，1984: 熊野灘におけるサンマ漁獲量の変動についての一，二の知見．東北水研研報，**46**, 21-26

小坂　淳，渡辺良朗，谷津保夫，高橋章策，1985: 寄生虫ペンネラPennella sp.の分布からみたサンマ *Cololabis saira* Brevoortの生態．東北水研研報，**47**, 79-91.

久保雄一，1954: 太平洋サンマ *Cololabis saira* (Brevoot) の生態学的研究－Ⅱ．生殖腺について．茨城水試研報，昭和25・26年度，87-97.

久保雄一，武藤康博，1955: 太平洋サンマの漁業生物学的研究－Ⅰ，年令査定について－Ⅰ．茨城水試研報，昭和27年度，56-71.

松宮義晴，田中昌一，1974: 体長組成解析によるサンマのいわゆる大型・中型等の検討．東北水研研報，**33**, 1-18.

Mastuura S., Mastumiya M., Ostuka T., Takeshita K., Minami T., and Ogawa N., 1991: Histological maturity scales, maturation and spawning in Kyusyu-subpopulation sardine, Sardinops melanostictus. Long-Term Variability of Pelagic Fish Population and their Enviroment (ed. by Kawasaki T., et al.). Proc. Int. Symp. Programon Press, Oxford, pp.221-228.

目黒敏美，安間　元，梶原善之，山口秀一，山本昭一，島崎健二，1987: 北西太平洋におけるサンマの南北分布．北大水産彙報，**38**(**2**), 126-138.

三島清吉，小城春男，島崎健二，大迫正尚，1981: 亜寒帯海洋前線周辺海域における浮魚群集の類型化．北大水産彙報，北洋研業績集特別号，105-118.

水江一弘，1958: カサゴの研究Ⅲ．カサゴの耳石に顕れる輪紋及びカサゴの成長について．Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., **7**, 1-9.

麦谷泰雄，1988: 魚類耳石の日周リズム，「水産動物の日周活動」（羽生　功，田畑満生編），恒星社厚生閣，東京，pp.35-46.

村山　司，青木一郎，石井丈夫，1990: 土佐湾における産卵期のマイワシ親魚の成熟状態と分布について．水産海洋研究，**54**, 357-363.

Nagasawa K., Imai Y., and Ishida K., 1985: Distribution, abandance,and effect of Panella sp. (Copepoda:Pannellidae), parastic on the saury, *Cololabis saira* (Brevoot), in the Western North Pacific Ocean and adjacent seas, 1984. *Bull. Biogeogr. Soc. Jap.*, **40**, 35-42.

中谷敏邦，小泉広明，横山信一，前田辰昭，高橋豊美，松島寛治，1990: 噴火湾産アカガレイの年齢と成長．日水誌，**56**, 893-901.

Nishimura A. and Yamada J., 1984: Age and growth of laval and juvenile walleye pollock, Theragra chalcogramma (Pallas), as determined by otolish daily growth increments. *J. Exp. Biol. Ecol.*, **82**, 191-205.

西村　明，渡辺良朗，山田寿郎，1985: サンマ耳石の日周輪様微細輪紋構造．東北水研研報，**47**, 33-35.

Numachi K., 1971: Genetic polymorphism of α-glycerophosphate dehydrogenase in saury, *Cololabis saira*- Ⅰ. Seven variant forms and genetic control. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **37**, 391-396.

小達　繁，1956a: 東北海区に於けるサンマ稚魚の分布と産卵魚の成熟状態．東北水研研報，**7**, 70-102.

小達 繁, 1956b: サンマの脊椎骨数. 東北水研研報, **8**, 1-14.

小達 繁, 1962a: 日本近海におけるサンマ稚仔の分布. 東北水研研報, **20**, 67-93.

小達 繁, 1962b: 脊椎骨数からみたサンマ魚群集団の構造 1. 秋季漁獲サンマの脊椎骨数. 東北水研研報, **21**, 38-49.

小達 繁, 1977: 北太平洋におけるサンマの分布. 北大水産彙報, 北洋研業績集特別号, 353-381.

Panella G., 1971: Fish otolithes:daily growth layers and periodical patterns. *Science*, **173**, 1124-1127.

阪本俊雄, 竹内淳一, 吉村晃一, 武田保幸, 1989: 紀伊のサンマ漁業. 第37回サンマ研究討論会報告, 昭和62年度, 232-237.

Sato M., 1981: Some considerations on the North to South turning migration mechanism of the pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoot). *Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ.*, **Spe. Vol.**, 73-78.

Solomon G., Sano M., Makoto S., and Y. Nose Y., 1987: Age and growth of the Pleuronetid Flounder Limanda yokohamae in Tokyo Bay, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 711-716.

菅間慧一, 1957: 耳石の性状からみたサンマのポピュレーション構 造－Ⅰ. 北水研研報, **16**, 1-12.

菅間慧一, 1959: 耳石の性状からみたサンマのポピュレーション構 造－Ⅱ. 北水研研報, **20**, 175-190.

巣山 哲, 桜井泰憲, 目黒敏美, 島崎健二, 1992: 中部北太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* の耳石日周輪に基づく年齢と成長の推定. 日水誌, **58**, 1607-1614.

庄島洋一, 1981: 九州近海・東シナ海におけるサンマ卵の採集について. 昭和55年度漁業資源研究会議議事録, 第13回浮魚部会議事録, 89-102.

Tabeta O., Tanaka K., J.Yamada J., and W.Tzeng W., 1987: Aspect of the early life history of the Japanese eel Anguilla japonica determind from otolith microstructure. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 1727-1734.

Takano K., 1964: On the egg formation and the follicular changes in Lebistes reticulatus. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**, 147-155

東北区水産研究所, 1992: 第42回サンマ資源研究会議報告, 東北区水産研究所, 塩釜, 293pp.

渡辺良朗, 小坂 淳, 谷津保夫, 高橋章策, 1985: 1983年における寄生性橈脚類ペンネラのサンマへの寄生状況. 東北水研研報, **47**, 37-46.

Watanabe Y., Builer J. L., and Mori T., 1988: Growth of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the northeastern and northwestern Pacific Ocian. *Fish. Bull., U. S.*, **86**, 489-498.

Watanabe Y. and Lo N. G. H., 1989: Laval production and mortality of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the north-western Pacific Ocian. *Fish. Bull., U. S.*, **87**, 601-613.

渡辺良朗, 1990: 北太平洋におけるサンマ資源の研究と予測の方法. 水産海洋研究会報, 54,419-425.

Watanabe Y. and Kuji Y., 1991: Verification of daily growth increment formation in saury otoliths by rearing larvae rom hatching. *Jap. J. Ichthol.*, **38**, 11-15.

安田秀明, 藤田四郎, 赤池清人, 苅部信二, 木本清暉, 春原 弘, 浜田悦之, 羽山泰夫, 1961: 日本産重要魚類の成長－Ⅵ. サンマ. 日水誌, 27, 217-219.

尹 泰憲, 1981: 北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期. 北大水産彙報, **32**, 22-38.

尹 泰憲, 島崎健二, 1981: 北太平洋におけるシマガツオ Brama japonica Hilgendorfの卵巣卵の発達過程からみた生殖周期. 北海道大学水産学部, 北洋研業績集, 特別号, 79-90.

Yamamoto K., 1956: Studies on the formation of fish eggs Ⅰ. Annual cyclein the development of ovarian eggs in the flounder, Liopsetta obscula. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. Ⅵ*, **12**, 375-390.

Yamamoto k. and H.Yoshioka H., 1964: Rhythm of development in the oocyto of the medaka, Oryzias latiopes. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**, 5-19.

摘 要

サンマ *Cololabis saira* (Brevoort) は北太平洋全域に分布し, 日本では重要な漁獲対象種となっている。しかしながら, これまで本種についての生物学的研究は少なく, 年齢, 成長については研究者によってその見解は異なっており定説はない。また, 繁殖生態についても不明な点が多く, 一生における産卵回数や, 産卵後の消長についても明確にされていない。

そこで本研究では, 中部北太平洋および西部北太平洋において採集されたサンマについて, 成長様式および成熟過程を調べた。これらの結果を両海域で比較す

るとともに，北太平洋におけるサンマの生活史を明らかにすることを目的とした。

1．耳石日周輪に基づく日齢と成長の推定

(1) 齢査定の方法として信頼性が高いと考えられる耳石日周輪を，走査型電子顕微鏡で観察・計数し，成長様式とふ化時期の推定を行った。この結果，小型群(200～240mm) に達するまでに半年以上，中型群(241～280mm) に達するまで1年以上，大型群に達するまでに1年半以上かかり，そのふ化時期は小型群および大型群は秋季から冬季，中型群は春季から夏季であると推定された。

(2) 大型群の耳石には，光学顕微鏡で透明帯が観察され，この部分では日周輪が計数不能または非常に密になっていた。日周輪の計数と輪紋の幅の計測から，透明帯は冬季を中心として形成され，この時期は成長率が低下していると考えられた。また，透明帯の形成が開始された時点で，小型群以上に達していると推定された。

(3) 中部北太平洋および西部北太平洋におけるサンマの成長を比較したところ，両海域では顕著な差は認められなかった。

2．耳石透明帯に基づく加齢の推定

(1) 耳石透明帯形成後の成長が耳石日周輪によって正確に推定されているかを検討するため，周年にわたって採集された標本の耳石を光学顕微鏡で観察した。そして，耳石縁辺部の観察から透明帯の形成時期およびその体長を検討し，小型群以上の加齢様式についての検証を行った。

(2) 小型群および中型群では，耳石透明帯が観察されない個体が主体であった。一方，大型群では透明帯が1本観察される個体が最も多く，次いで耳石縁辺部が幅広く半透明になっているタイプが最も多く，透明帯が2本あるいはそれ以上観察される個体も出現した。1本目の透明帯は280mm前後で，2本目の透明帯は310mmを中心として形成されていた。

(3) 透明帯が形成されている個体は10月以降増加し，12月から1月にピークを迎えた。一方，7月から9月には透明帯が形成されている個体の割合は低かった。小型群以上では冬季に透明帯が形成されており，この群が翌年には大型群に達していると推定できた。

3．組織学的観察に基づく雌の成熟過程

(1) サンマ雌の生殖腺の組織学的観察を行い，これに基づいて組織学的成熟度を設定した。この結果，周辺仁期から退行期IIまでの7期に区分できた。

(2) 卵巣の組織学的観察では卵発達は非同期型を示し，また卵径頻度分布が多峰型であったことから，一産卵期に数回産卵を行うものと推定された。また，産卵後の個体には退行卵が多く現れたが，これらの個体は肥満度が回復していたことから，産卵後にも生残するものと考えられた。産卵を行っている個体は体長253mmの中型群以上の個体であり，水温15℃以上の高水温の海域で採集された。

4．サンマの回遊，成長と成熟の関係

(1) サンマは冬季には本州の南方の海域で，夏季には道東などの北方の海域で，春季および秋季にはその中間の本州東方海域で採集された。

(2) 6月から7月に採集された個体の体長組成には290～300mmのモードがみられたが，耳石タイプから漁期にはこの群が大型群として出現すると考えられた。この中には産卵中の個体が含まれていた。9月にはこれらの群には産卵中の個体は現れず，10月以降成熟が進んでいた。このことから，漁期中に大型群として漁獲される群は，春季の北上時に産卵を行っている経産魚であろうと考えられた。秋季に南下する中型群には11月以降成熟している個体が現れ，この時期に初回産卵を行っていると考えられた。この時点で，大型群は2歳，中型群は1.5歳に達していると推定された。また，成長と成熟の関係は，中部北太平洋および西部北太平洋では差がないと考えられた。

水産総合研究センター研究報告
Bulletin of Fisheries Research Agency

編集委員会
編集委員長　中添純一
編集委員　原　一郎，奥田邦明，中野　広，山澤正勝，石塚吉夫，山田　久，
芦田勝朗，反町　稔，山越康行

平成14年9月30日　発　行

発　行　所　独立行政法人　水産総合研究センター
〒236-8648　神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4
Fisheries Research Agency
Fukuura 2-12-4, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan
http://www.fra.affrc.go.jp

発　行　者　畑中　寛

印　刷　所　株式会社 シーケン

ISSN 1346-9894

BULLETIN OF
FISHERIES RESEARCH AGENCY

No. 5
September 2002

Bull.Fish.Res.Agen.

CONTENTS

Original Paper

Unique hydrographic structure of intermediate water offshore the Enshu-nada in the Kuroshio region south of Japan
Kosei KOMATSU and Kiyoshi KAWASAKI ····· 1

Spatio-temporal variation of sea surface temperature observed by ferryboat in Izu-Ogasawara ridge Ⅰ. Interannual variation
Kosei KOMATSU, Akira TOMOSADA, and Kiyoshi KAWASAKI ····· 23

Spatio-temporal variation of sea surface temperature observed by ferryboat in Izu-Ogasawara ridge Ⅱ. Variation shorter than one year
Kosei KOMATSU, Akira TOMOSADA, and Kiyoshi KAWASAKI ····· 38

Relation between characteristic of fixed shore net fishing village and formation condition for sightseeing fixed shore net
Tsutomu MATSUURA ····· 55

Doctoral Thesis

Study on the age, growth, and muturation process of Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort) in the North Pacific
Satoshi SUYAMA ····· 68